Geography and Environmental Sustainability
Homepage: http://ges.razi.ac.ir/

Developing a Strategic Plan for Locating Underground Dams in Khorramabad County

Vahid Beiranvandi[1]| Roghayeh Jahdi[2]| Ali Hosseini[3]

1. Department of Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir
3. Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Lorestan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 12 Oct 2024
Received in revised form: 11 Dec 2024
Accepted: 14 Dec 2024
Available online: 21 Dec 2024

Keywords:
Water extraction,
Underground dam,
SWOT analysis,
QSPM matrix,
Strategic management.

ABSTRACT

Underground dams, as one of the water flow control and storage structures along seasonal waterways, can be the most effective way to solve water-related issues. In the current research, using the integrated QSPM-SWOT model, suitable places for the development of underground dams in Khorramabad County were examined. First, to provide the required information, the study area was visited and a questionnaire was prepared to prepare the SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, and threats) in the construction of underground dams. This questionnaire was completed by 25 water resource management experts and residents of the study area. Then, using the SWOT model and QSPM matrix, a thorough analysis and convenient problem-solving method were selected to locate underground dams. The results showed that among the internal factors, vulnerability and pollution are less due to human and environmental factors (0.458) and extraction of high-quality water (0.372), and among external factors, restoration, stabilization, and increase of vegetation (0.304) and damage to underground water tables in case of construction without conducting sufficient studies (0.276), have been most effective in choosing strategies. Based on the obtained results, the use of a defensive strategy for the management of underground water resources, which is done by covering the weaknesses, overcoming the threats, and taking advantage of the strengths and the opportunities to locate the underground dams suitably, has a higher priority than other strategies (competitive-aggressive, diversity, and revision) in the study area. In addition, solutions were presented along the supply measures and then for the spatial prioritization of underground dams using the QSPM quantitative matrix. Finally, the solution to increasing the level of regional water flow by selecting educated managers in the field of underground dams water before and after construction was given priority with a final score of 6.074.

Cite this article: 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. https://doi.org/10.22126/GES.2024.11211.2791

© The Author (s).
DOI: https://doi.org/10.22126/GES.2024.11211.2791
Publisher: Razi University

جغرافیا و پایداری محیط
وبگاه نشریه: http://ges.razi.ac.ir/

تدوین برنامه راهبردی مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در شهرستان خرم‌آباد

وحید بیرانوندی[1]| رقیه جهدی[2]| علی حسینی[3]

۱. گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir
۳. گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
استحصال آب،
سد زیرزمینی،
تجزیه‌وتحلیل SWOT،
ماتریس QSPM،
مدیریت راهبردی.

چکیده

سدهای زیرزمینی به‌عنوان یکی از سازه‌های کنترل و ذخیره‌کننده جریان در مسیر آبراهه‌های فصلی می‌تواند از روش‌های مهم حل مشکلات مرتبط با آب باشد. در پژوهش حاضر با استفاده از مدل تلفیقی QSPM-SWOT بررسی موقعیت‌های بالقوه مطلوب برای توسعه سدهای زیرزمینی در شهرستان خرم‌آباد انجام شد. ابتدا، به‌منظور مهیا نمودن اطلاعات موردنیاز، اقدام به بازید از منطقه موردمطالعه و تهیه پرسش‌نامه باهدف تهیه نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها در ایجاد سدهای زیرزمینی انجام شد. این پرسش‌نامه توسط ۲۵ کارشناس مدیریت منابع آب و مردم محلی در منطقه موردمطالعه تکمیل شد. سپس، با بهره‌گیری از الگوی تجزیه‌وتحلیل SWOT و ماتریس QSPM، راهبرد جامع و روش حل مسئله مساعدی به‌منظور مکان‌یابی سدهای زیرزمینی انتخاب شد. نتایج نشان داد که از بین عوامل داخلی، آسیب‌پذیری و آلودگی کمتر به‌وسیله عوامل انسانی و محیطی (ارزش نهایی ۰/۴۵۸) و استحصال آب باکیفیت بالا (ارزش نهایی ۰/۳۷۲) و از بین عوامل خارجی، ترمیم، تثبیت و افزایش پوشش گیاهی(ارزش نهایی ۰/۳۰۴) و آسیب به سفره‌های آب زیرزمینی در صورت احداث بدون انجام مطالعات کافی (ارزش نهایی ۰/۲۷۶)، در انتخاب راهبردها بیشترین اثربخشی را داشته‌اند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، استفاده از راهبرد تدافعی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی که با پوشش نقاط ضعف، چیره‌شدن بر تهدیدها، بهره‌گیری از نقاط قوت و فرصت‌ها، مکان‌یابی سدهای زیرزمینی به شکل مناسبی انجام می‌شود، از اولویت بیشتری نسبت به سایر راهبردها (رقابتی - تهاجمی، تنوع و بازنگری) در منطقه موردمطالعه برخوردار است. علاوه بر این، راه‌حل‌هایی در امتداد تدابیر عرضه و سپس به‌منظور اولویت‌بندی مکانی سدهای زیرزمینی با استفاده از ماتریس کمی QSPM ارائه شد. در نهایت، راهکار افزایش سطح جریان آب‌های منطقه‌ای با انتخاب مدیران تحصیل‌کرده در زمینه آب سدهای زیرزمینی قبل و بعد از ساخت با امتیاز نهایی ۶/۰۷۴ در اولویت نخست قرار گرفت.

استناد: بیرانوندی، وحید؛ جهدی؛ رقیه؛ حسینی، علی (۱۴۰۳). ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خدمات بوم‌سازگانی (مطالعه موردی: تالاب و ذخیره‌گاه زیست‌کره میانکاله). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۴ (۴)، ۱۲۳-۱۳۶. https://doi.org/10.22126/GES.2024.11211.2791

© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22126/GES.2024.11211.2791
ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

آب یکی از منابع طبیعی است که تعادل آن برای پایداری کره زمین و حیات روی آن و توسعه اقتصادی مورد انتظار در آینده، حیاتی است (Musie & Gonfa, 2023). بااین‌حال، ازآنجایی‌که آب در حال حاضر یکی از منابع محدود است، امنیت آب (ظرفیت یک جمعیت برای حفظ دسترسی پایدار به مقادیر کافی آب باکیفیت قابل‌قبول)، در حال حاضر برای بسیاری در معرض خطر است و وضعیت در چند دهه آینده بدتر خواهد شد (Boretti & Rosa, 2019). آب زیرزمینی منبع اصلی و مهم برای مصارف شرب (۶۵ درصد)، کشاورزی (۲۰ درصد) و صنعت (۱۵ درصد) است که به‌شدت تحت‌تأثیر افزایش بی‌رویه شهرنشینی و شیوه‌های آبیاری سنتی قرار دارند (Panhwar et al., 2022).

بهره‌برداری ناپایدار از آب‌های زیرزمینی در حال افزایش است و این وضعیت کم‌آبی را تشدید می‌کند. برای مثال، این بهره‌برداری‌ها اغلب باعث تراکم غیرکشسانی سفره‌های زیرزمینی شده و پتانسیل آب‌های زیرزمینی آینده را به خطر می‌اندازد (Sahadevan & Pandey, 2023). بر اساس گزارش‌های منتشر شده در سال ۲۰۱۰، مصرف آب‌های زیرزمینی در سطح جهان به ۸۰۰ کیلومتر مکعب در سال رسید که کشورهای هند، ایالات متحده، چین، ایران و پاکستان ۶۷ درصد از برداشت‌های جهانی را به خود اختصاص دادند (Wada et al., 2016). برداشت آب برای آبیاری عامل اصلی کاهش آب‌های زیرزمینی در سراسر جهان است و پیش‌بینی شد که افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی تا سال ۲۰۵۰ به ۱۱۰۰ کیلومتر مکعب در سال خواهد رسید.

ایران به دلیل دارابودن اقلیم خشک و نیمه‌خشک و نیز حکمرانی ضعیف منابع آبی، با بحران آب به‌عنوان یک بحران حکمرانی - اقلیمی مواجه است. همچنین، با تخمین روند ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی در ایران بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷، مشاهده شد که روند منفی شدیدی حتی ۴۴۰۰- میلی‌متر مکعب در برخی مناطق وجود دارد (Safdari et al., 2022). این برآوردها نشان دهنده تغییراقلیم و برداشت اضافی از سفره‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در برخی مناطق ایران است. در ایران به سبب موقعیت جغرافیایی و اقلیمی، راهبردهای مدیریت صحیح منابع آب و برداشت منابع آب جدید ازجمله تدابیر مقابله با مخاطره کم‌آبی خواهد بود (معصومی و همکاران، ۱۴۰۱). بر این اساس، روش‌های استحصال علمی آب که کمترین هدر رفت آب و تأثیرات تخریب‌گر بر خدمات محیط‌زیست را داشته باشد، توصیه شده است (شیرین حصار و گواهی، ۱۴۰۲).

یکی از الگوهای نظارتی-مدیریتی در ذخیره منابع آبی در فصول مرطوب به‌منظور استفاده در فصول خشک، سدهای زیرزمینی محسوب می‌شود. سدهای زیرزمینی عناصر ساختاری- هیدرولیکی محسوب می‌شوند که بر روی آب‌های زیرزمینی ساخته شده و موجب بالا آمدن آب و ذخیره آن می‌شود (Kharazi et al., 2019). در مقایسه با سدهای روی زمین، سدهای زیرزمینی هزینه ساخت کمتری دارند و تبخیر و از دست دادن رطوبت در آن‌ها به دلیل ساختار و قرار گرفتن در زیرزمین بسیار کمتر است (اسدی و کازرونی، ۱۳۹۹). سدهای زیرزمینی که همچون مانعی در مسیر جریان آب نقش ذخیره آب‌های زیرزمینی را در لایه‌های آب‌دار طبیعی و مصنوعی برعهده دارند (Teng et al., 2024)، غالباً در نقاط دارای جریان زیرسطحی احداث می‌شوند (چزگی و همکاران، ۱۳۹۷). به‌موجب تنوع بالای سدهای زیرزمینی در صورت اجرای مناسب، این سازه‌ها می‌توانند نقش موثری بر توسعه و مدیریت منابع آبی کوچک در دوره‌های خشک ایفا نمایند (Kumar, 2024).

باتوجه‌به انواع منافع محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی سدهای زیرزمینی، مکان‌یابی صحیح آن‌ها بر اساس معیارهای تصمیم‌گیری، نقش مهمی در حفظ و ذخیره آب‌های زیرزمینی دارد. همچنین، باتوجه‌به پیچیدگی تصمیم‌گیری در مباحث منابع آبی باوجود عوامل مختلف داخلی و خارجی، نیاز به بهره‌گیری از یک چارچوب جدید برنامه‌ریزی راهبردی با تصمیم‌گیری چندمعیاره برای توسعه جایگزین‌های مدیریت آب پایدار است (Radmehr et al., 2022). دراین‌ارتباط، از الگوی تجزیه‌وتحلیل SWOT[1] در مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی و مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در کشور (بیرانوندی، ۱۳۹۹؛ خرازی و همکاران، ۱۳۹۶؛ درفشان و همکاران، ۱۳۹۶) و نیز خارج از کشور (Ishida et al., 2011; Forzieri et al., 2008)

1. Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats

استفاده شده است.

در سایر مطالعات، زاهدی (۱۳۹۲)، در پژوهشی با استفاده از مدل SWOT به شبیه‌سازی بیلان آب و جریان زیرسطحی حوزه اقدام نمودند که نتایج حاکی از استعداد بالای مناطق شمالی و جنوبی حوزه درونگر به دلیل بالا بودن جریان زیرسطحی این مناطق نسبت به سایر نقاط بود. کردی و همکاران (۱۳۹۵) برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در شهرستان مهران، استان ایلام به تلفیق لایه‌های گسل، توپوگرافی، زمین‌شناسی و... با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها اراضی مرتعی دارای شیب ۵ تا ۶ درصد، مناسب‌ترین نقاط برای احداث سدهای زیرزمینی تشخیص داده شد.

چزگی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل تحلیلی SWOT و ماتریس کمی QSPM[1] به مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در استان هرمزگان پرداختند. نتایج حاکی از عدم کاهش حجم ذخیره مخزن در نتیجه رسوب‌گذاری و کم شدن تبخیر از مخزن سد (عوامل داخلی) و تمایل و همکاری سازمان‌های مرتبط و به هم خوردن تعادل در پایین‌دست (عوامل خارجی)، از اصلی‌ترین عوامل اثرگذار در انتخاب راهبرد مناسب برای سدهای زیرزمینی است. همچنین، در مطالعه‌ای که با استفاده از GIS و منطق بولین به‌منظور مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در نقاطی از غرب استان یزد صورت گرفت، نتایج نشان از مطلوبیت ۰/۷۱ درصدی نظرآباد، ۰/۴۶ اخوان و ۰/۴۱ درصدی میرشمسی در انتخاب مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی داشته است (Sadeghiravesh et al., 2023). استفاده از روش‌های مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار GIS در منطقه بودا کال، سوئد نیز با هدف مکان‌یابی مناطق مناسب احداث سدهای زیرزمینی از جمله مطالعاتی بود که در خارج از کشور مورد بررسی قرار گرفت (Jamali et al., 2013).

تجزیه‌وتحلیل مناسب برای سدهای زیرزمینی بر اساس مقادیر محاسبه شده شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و داده‌های زمین‌شناسی، از جمله اطلاعات چینه‌شناسی بود. محاسبات بیلان‌آب زیرزمینی نشان داد که بسیاری از مناطق پرجمعیت در معرض کمبود مکرر آب هستند. از ۳۴ زیرحوضه موجود در منطقه موردمطالعه، ۱۰ حوضه بیش از حد استخراج شده، ۹ حوضه اصلاً نیازی به تأمین آب نداشتند، یکی خودکفا بود و ۱۴ حوضه باقی‌مانده توانستند تقاضای تأمین آب را با ظرفیت ذخیره مازاد تأمین کنند. در مجموع، نتایج تحقیقات صورت گرفته نشان از ارجحیت سدهای زیرزمینی بر سدهای سطحی در مناطق خشک و نیمه خشک داشته است. همچنین، ایجاد سدهای زیرزمینی در نقاطی که با بحران خشکسالی مواجه هستند، به‌منظور تأمین آب موردنیاز و افزایش ذخایر آب‌زیرزمینی دارای کمترین مسائل محیط‌زیستی می‌باشد. این در حالی است که سدهای سطحی علی‌رغم مزایایی که در تنظیم جریان رودخانه‌ها و نیز کاهش وقوع سیلاب‌ها دارند، در صورتی که برداشت از آن‌ها بیش از توان اکولوژیکی محیط باشد منجر به تغییرات جریان آب و آشفتگی‌هایی در مسیر رودخانه‌ها می‌شوند (بیاتی خطیبی و ساری صراف، ۱۴۰۳).

در این مطالعه، با استفاده از معیارهای تصمیم‌گیری و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مکان‌یابی احداث سدهای زیرزمینی در شهرستان خرم‌آباد به‌عنوان هدف تعیین شد. با درنظرگرفتن عوامل محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی، عوامل مؤثر در مکان‌یابی احداث سدهای زیرزمینی تعریف شد. با بهره‌گیری از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره FAHP، مدل تحلیلی SWOT و الگوی ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی (QSPM) روش راهبردی جهت توسعه سدهای زیرزمینی ارائه شد. نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد مفید در فرایند انتخاب و اولویت‌بندی مکان‌های بهینه برای احداث سدهای زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک موردتوجه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد بررسی

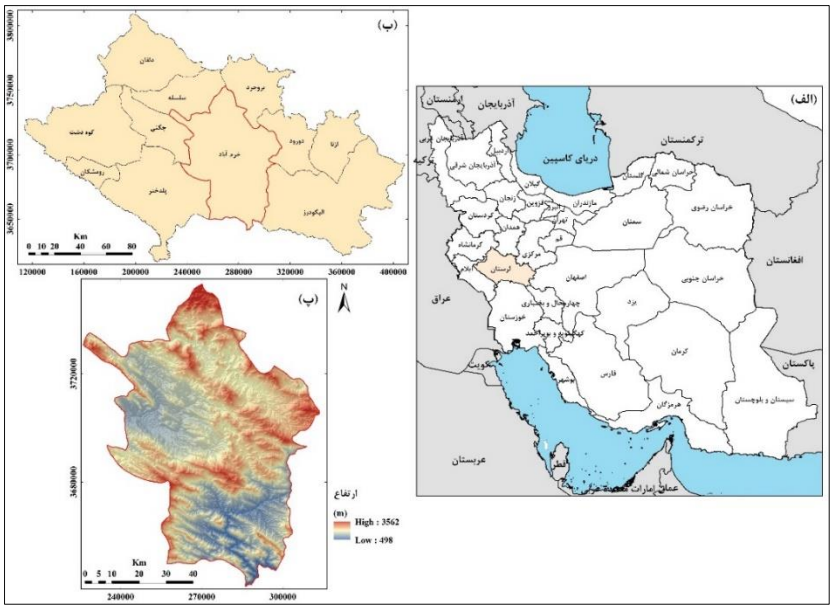
شهرستان خرم‌آباد با وسعت حدود ۴۹۴۲ کیلومترمربع در استان لرستان واقع شده و از مهم‌ترین حوضه‌های آبریز کرخه در غرب ایران است. این شهرستان در طول‌های شرقی ′۵۱ °۴۶ تا ′۳۰ ° ۵۰ و عرض‌های شمالی ′۳۷ °۳۲ تا ′۲۲ °۳۴ قرار گرفته است (شکل ۱). است. اقلیم این منطقه طبق طبقه‌بندی‌های دومارتن و آمبرژه به ترتیب نیمه‌خشک و نیمه‌حشک سرد

1. Quantitative Strategic Planning Matrix

است (یاراحمدی و بیرانوند، ۱۳۹۳). میانگین بارش سالیانه ۵۰۹ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۷ درجه سلسیوس می‌باشد. از مهم‌ترین ویژگی‌های این منطقه می‌توان به بارش فراوان در حوزه و از دسترس خارج شدن بخش عظیمی از آن به‌صورت رواناب و شوری آب‌های پایین‌دست اشاره نمود. در مواردی بارش‌های این منطقه به‌صورت بارش‌های مولد سیل است که خسارات زیادی به بخش‌های مختلف کشاورزی، مسکونی و سایر زیرساخت‌ها وارد می‌کند و حتی منجر به تلفات انسانی نیز شده است (زند و سماعی، ۱۳۹۶).

روش انجام پژوهش

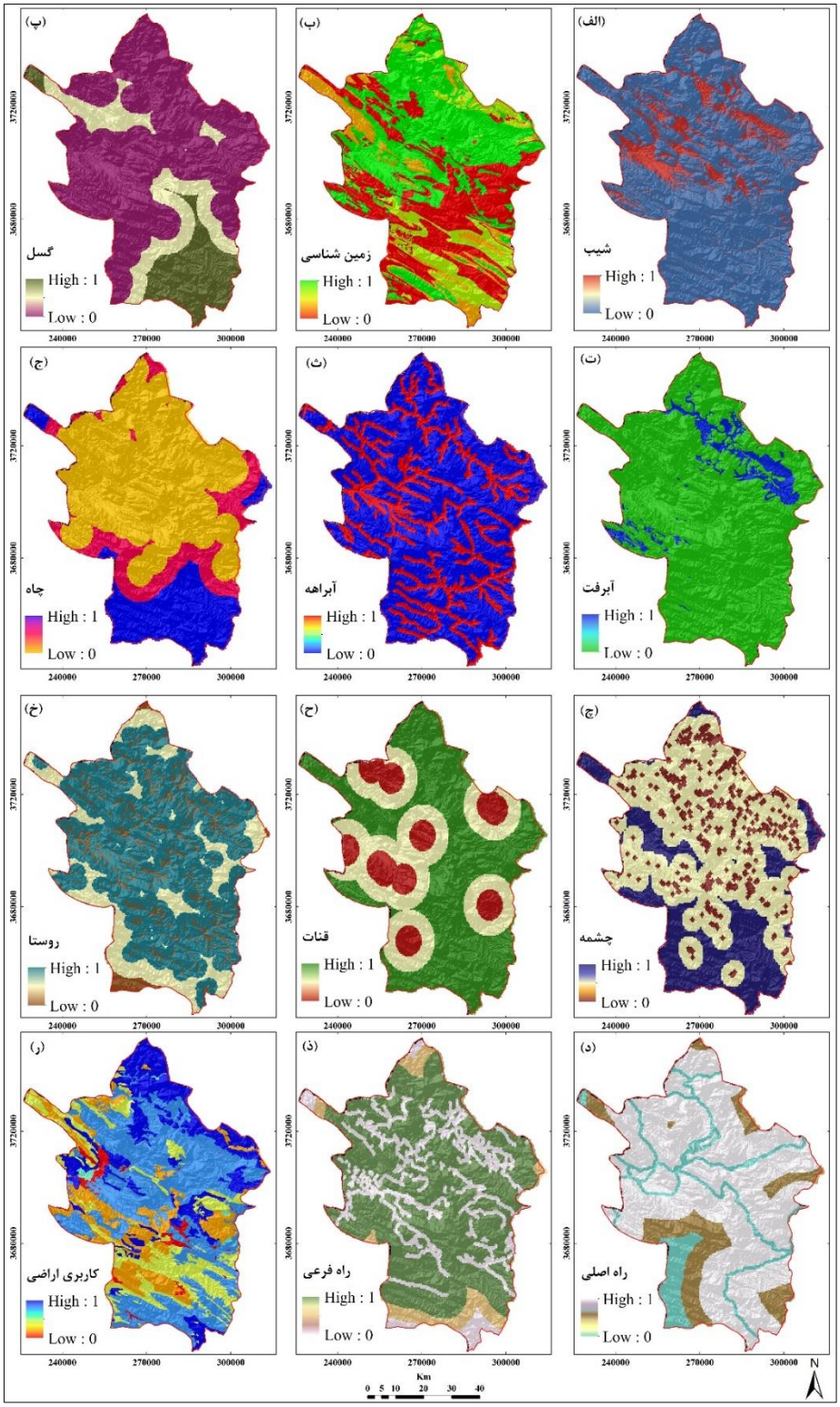
این پژوهش از تحقیقات توصیفی - تحلیلی و از نظر نوع هدف کاربردی محسوب می‌شود. این تحقیق در ۳ مرحله شامل: الف) جمع‌آوری اطلاعات، تهیه پرسش‌نامه و بررسی میدانی از نقاط سازگار در توسعه سدهای زیرزمینی (برحسب مکان‌یابی صورت‌گرفته)، ب) بهره‌گیری از مدل تحلیلی SWOT به‌منظور واکاوی نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها برای ارائه رویکردهای فراگیر منطقه باهدف احداث سد زیرزمینی و ج) برآورد و اولویت‌بندی راهکارهای تهیه‌شده از طریق نظرات خبرگان با بهره‌گیری از روش QSPM، صورت گرفت.



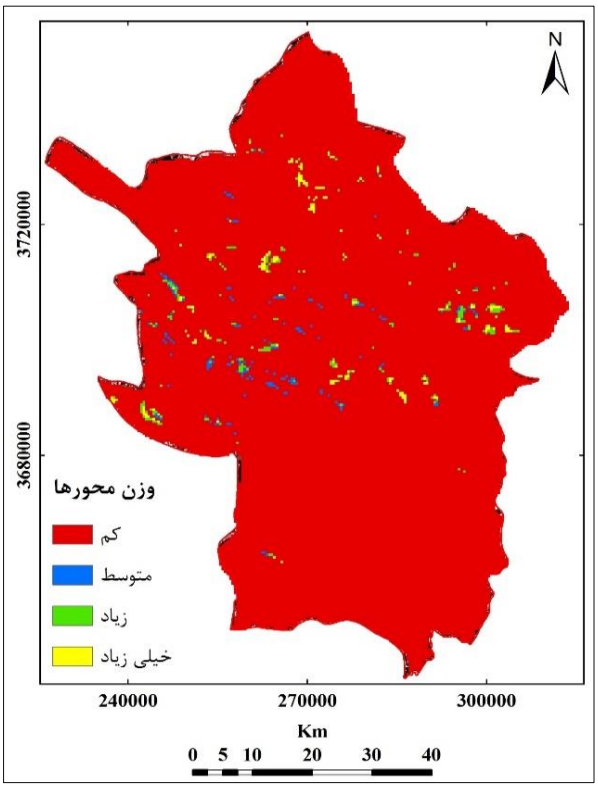
شکل ۱. الف: موقعیت جغرافیایی استان لرستان در غرب ایران؛ ب: شهرستان خرم آباد در استان لرستان و پ: نقشه مدل رقومی ارتفاع (متر) شهرستان خرم‌آباد

ابتدا، مفروضات این مطالعه در مورد مکان‌یابی سدهای زیرزمینی از طریق بازدیدهای منطقه‌ای و تهیه اطلاعات موردنیاز از اهالی منطقه و متخصصان مدیریت منابع آب تأمین شد. نمونه آماری در این تحقیق ۲۵ نفر بوده که از بین آن‌ها ۱۰ نفر از متخصصان آشنا به منطقه مورد مطالعه و ۱۵ نفر از مردم محلی به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. پرسش‌نامه تهیه شده بین آن‌ها توزیع شد و پایایی آن بر اساس روش آلفای کرونباخ به مقدار قابل‌قبول به‌دست آمد (α=۰/۷۵۴). همچنین، روایی پرسش‌نامه بر اساس نظرات کارشناسان و متخصصان مدیریت منابع آب آشنا به منطه موردمطالعه، بررسی و تأیید شد. تحلیل داده‌ها از طریق تحلیل عاملی به وسیله نرم‌افزار SPSS انجام شد. در این مطالعه، از طیف لیکرت پنج درجه‌ای (بسیار موافق، موافق، بدون نظر، مخالف و بسیار مخالف) برای تشخیص و تائید عوامل داخلی و خارجی موثر بر شهرستان خرم‌آباد، بکار گرفته شد. با توجه به مطالعه بیرانوندی (۱۳۹۹)، مکان‌یابی بر اساس موضوعات و دیدگاه‌های کارشناسی، تحقیقات انجام‌شده، منابع موجود و کنترل میدانی انجام شد. بر اساس مطالعه اشاره شده، نقشه‌های معیارهای انتخابی موثر بر احداث سد زیرزمینی (شامل ۱۲ معیار شیب، زمین‌شناسی، گسل، آبرفت، آبراهه، چاه، چشمه، قنات، روستا، راه اصلی، راه فرعی و کاربری اراضی) بر اساس منطق فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد (شکل ۲). سپس با وزن‌های تعیین شده برای هر معیار در روش

سلسه‌مراتبی فازی ، نقشه اولویت‌بندی نقاط مناسب احداث سد زیرزمینی در شهرستان خرم‌آباد تهیه شد (شکل ۳) که نشان‌دهنده نقاطی مناسب با درجات اهمیت متفاوت به‌منظور ایجاد سد زیرزمینی است. بر اساس این شکل، در مجموع ۲ درصد از منطقه موردمطالعه که بیشتر آن در بخش شمالی واقع شده، به‌منظور ایجاد سد زیرزمینی مناسب شناسایی شد.



شکل ۲. نقشه ۱۲ معیارانتخابی برای مکان‌یابی احداث سدهای زیرزمینی آماده شده با استفاده از روش منطق فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (بیرانوندی، ۱۳۹۹)



شکل ۳. اولویت‌بندی نقاط مناسب احداث سد زیرزمینی در شهرستان خرم‌آباد به روش FAHP (بیرانوندی، ۱۳۹۹)

در مرحله دوم، روش تحلیل راهبردی SWOT بکار گرفته شد که هدف آن تحقق اهداف فرهنگی، اقتصادی، اجتماعی و عمرانی با استفاده از مدیریت راهبردی است (ابطحی و همکاران، ۱۴۰۲). در واقع، بعد از انتخاب جامعه نمونه در این تحقیق، ماتریس ارزیابی عوامل داخلی و خارجی تشکیل شد. در این تحقیق، برای عوامل داخلی ۱۴ نقطه قوت و ۹ نقطه ضعف و برای عوامل خارجی ۱۳ فرصت و ۱۰ تهدید بر اساس نظرات کارشناسان و از طریق پرسش‌نامه‌های بازی که بین بهره‌برداران، مشاورها، اساتید و کارفرمایان پخش شد، تهیه شد. با استفاده از نظر متخصصان، ضرایب برای عوامل انتخاب شده تعیین شد و تصمیم‌گیری در مورد عوامل راهبردی (با اهمیت بالا و پائین) انجام شد و نتایج به‌دست آمده از ماتریس‌ها برای تعیین ارزش نهایی استفاده شد. به عبارت دیگر، با بهره‌گیری از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) و پرسش‌نامه‌های تدارک دیده شده برای هر یک از شاخص‌های عوامل داخلی و خارجی، ارزش تعیین و به‌منظور ایجاد سدهای زیرزمینی، راهبردهایی تعیین شد. راهبردهای این مدل شامل راهبردهای رقابتی-تهاجمی (SO)، تنوع (WO)، بازنگری (ST) و تدافعی (WT) می‌باشد. سپس، با بهره‌گیری از مدل SWOT به تعیین برنامه راهبردی منطقه بر پایه اطلاعات مرحله قبل پرداخته و در مجموع ۸ راهبرد با قابلیت اجرا استخراج شد و با استفاده از ماتریس QSPM اولویت‌بندی الگوی آن صورت گرفت.

در مرحله آخر، ماتریس کمی برنامه‌ریزی راهبردی (QSPM) تهیه شد. این ماتریس از فنون شایع در ارزیابی، سنجش و بررسی تحقیق می‌باشد. این تکنیک از بین گزینه‌های راهبردی مشخص می‌نماید که کدام گزینه راهبردی امکان‌پذیر است. استفاده از این ماتریس به‌منظور ورود اطلاعات و تلفیق استفاده و همچون دیگر الگوهای راهبردی نیازمند شناخت، مهارت و قضاوت اصولی هست (افخمی، ۱۳۹۷).

فازهای اجرایی ماتریس کمی بدین‌سان می‌باشد که در سطرها، عوامل خارجی و عوامل داخلی فهرست و در ستون‌ها راهبردها تعریف شد. به‌منظور ایجاد ارتباط بین راهبردهای تعریف‌شده و شاخص‌های عوامل خارجی و داخلی دو ستون به نام جذابیت نسبی هر شاخص و نمره جذابیت راهبردی موجود و امتیاز نسبی آن بر اساس ارتباط بین ۱ تا ۴ داده شد. در انتها، باتوجه‌به وزن‌های تعیین‌شده برای عوامل داخلی و خارجی از طریق مدل سلسه‌مراتبی فازی و به‌دست‌آوردن ضریب اهمیت نسبی هر عامل و ضرب آن در ضریب جذابیت جزئی هر عامل، نمره جذابیت راهبردی استخراج شد.

نتایج

در این مطالعه، به‌منظور ارائه راهبرد جامع و مناسب در راستای احداث سدهای زیرزمینی در پرسش‌نامه برای هر یک از عوامل داخلی (قوت‌ها و ضعف‌ها) به ترتیب ۱۴ و ۹ شاخص مشخص و ارزشیابی آن‌ها برحسب نظرات خبرگان صورت گرفت، سپس ارزش نهایی عوامل داخلی با مدل SWOT به دست آمد (جدول ۱).

یافته‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که از بین نقاط قوت تعیین شده، شاخص آسیب‌پذیری و آلودگی کمتر به‌وسیله عوامل انسانی و محیطی با ارزش نهایی ۰/۴۵۸ با اهمیت‌ترین شاخص می‌باشد. از بین نقاط ضعف تعیین شده (جدول ۱)، محدود بودن مناطق مناسب احداث سدهای زیرزمینی به دلیل نیاز به شیب کمتر از ۵ درصد با ارزش نهایی ۰/۱۳۲ به‌عنوان کارسازترین شاخص شناخته شده است.

جدول ۱. ماتریس عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف)

	عوامل داخلی	رتبه	اهمیت نسبی	ارزش نهایی
نقاط قوت (Ss)	آسیب‌پذیری و آلودگی کمتر به‌وسیله عوامل انسانی و محیطی (S_1)	۴	۰/۱۱۴۵	۰/۴۵۸
	استحصال آب باکیفیت بالا (S_2)	۴	۰/۰۹۳	۰/۳۷۲
	فناوری احداث ساده با بهره‌گیری از منابع قرضه (S_3)	۳	۰/۰۷۵	۰/۲۲۵
	ممانعت از تخریب و نابودی زمین‌های کشاورزی و محل سکونت (S_4)	۴	۰/۰۵۵	۰/۲۲
	جلوگیری از هدررفت و تبخیر آب باتوجه‌به اهمیت آن در عصر حاضر (S_5)	۴	۰/۰۳۹	۰/۱۵۶
	عدم نقصان گنجایش مخزن در پی رسوب‌گذاری (S_6)	۲	۰/۰۲۴۵	۰/۰۴۹
	افزایش کیفیت آب به دلیل لایه‌های متخلخل آبرفتی با تصفیه فیزیکی و مکانیکی (S_7)	۳	۰/۰۲۳	۰/۰۶۹
	هزینه احداث بسیار پایین (S_8)	۲	۰/۰۱۹۵	۰/۰۳۹
	کنترل رژیم جریان با ممانعت از وقوع سیل (S_9)	۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱
	تغذیه سفره‌های پایین دستباف استفاده از عوامل مناسب در آبخوان‌داری (S_{10})	۱	۰/۰۱	۰/۰۱
	تشکیل منبع همیشگی و قابل‌اطمینان ذخیره آب (S_{11})	۳	۰/۰۰۹۵	۰/۰۲۸۵
	تأمین و سهولت دسترسی به آب مصرفی در منطقه موردنیاز (S_{12})	۳	۰/۰۰۹۵	۰/۰۲۸۵
	ممانعت از اجتماع منابع آب در سواحل و دشت‌های نمک که منجر به ادغام آب‌های شور و آب‌های زیرزمینی می‌شود (S_{13})	۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹
	مدیریت منابع آب چشمه‌ها و قنوات هر ناحیه (S_{14})	۱	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۵
نقاط ضعف (Ws)	خارج از جلوگیری از وقوع سیل تک منظوره‌بودن استفاده از سدهای زیرزمینی (تأمین آب کشاورزی) (W_1)	۱	۰/۰۷۰۵	۰/۰۷۰۵
	محدود بودن مناطق مناسب احداث سدهای زیرزمینی به دلیل نیاز به شیب کمتر از ۵ درصد (W_2)	۲	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
	حجم آب ذخیره کمتر نسبت به سدهای سطحی به دلیل تشکیل در آبرفت‌های پشت دیواره سد (نیلسون، ۱۳۸۸) (W_3)	۱	۰/۰۶۵۵	۰/۰۶۵۵
	عدم دانسته‌های لازم ژئوفیزیکی (W_4)	۲	۰/۰۶۲۵	۰/۱۲۵
	نبود آگاهی‌های لازم و اعتبارات ضروری به‌منظور ایجاد سد در میان بومیان و مسئولین (W_5)	۲	۰/۰۵۸۵	۰/۱۱۷
	عدم توجیه اقتصادی در اعماق زیاد (W_6)	۱	۰/۰۵۴	۰/۰۵۴
	مشکلات مربوط به تخمین حجم مخزن به دلیل ذخیره آب در زیرزمین و عدم دقت روش ژئوالکتریک (سلامی، ۱۳۸۵) (W_7)	۲	۰/۰۴۲۵	۰/۰۸۵
	در این‌گونه سدها به دلیل عدم رؤیت کار، نظارت بر کنش‌های اجرایی، دیواره‌های آب‌بند و کنترل آبگذری مشکل و نیازمند مطالعات فراوان می‌باشد (سگوند و مدبر، ۱۳۸۵) (W_8)	۱	۰/۰۴۰۵	۰/۰۴۰۵
	اطلاعات محدود باتوجه‌به جدید بودن موضوع سد زیرزمینی (W_9)	۲	۰/۰۴	۰/۰۸
	امتیاز کلی عوامل داخلی		۲/۴۵۲	

در این پژوهش برای عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) به ترتیب ۱۳ و ۱۰ شاخص ارزیابی ارائه شده است (جدول ۲).

نتایج در این بخش نشان داد که شاخص ترمیم، تثبیت و افزایش پوشش گیاهی باارزش نهایی ۰/۳۰۴ از دیدگاه کارشناسان امر تأثیرگذارترین شاخص می‌باشد. علاوه بر این، از بین فرصت‌های انتخاب شده، ترویج همکاری بین سازمانی به‌عنوان کم‌ارزش‌ترین شاخص باارزش نهایی ۰/۰۷ به دست آمد.

در بین شاخص‌های تهدید نیز همان‌طور که از جدول ۲ قابل‌مشاهده می‌باشد، بر اساس نظرات خبرگان شاخص آسیب به سفره‌های آب زیرزمینی در صورت احداث بدون انجام مطالعات کافی با ارزش نهایی ۰/۲۷۶ به‌عنوان مهم‌ترین و شاخص انحلال حقابه‌های پایین‌دست با ارزش نهایی ۰/۰۴۵ به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین در ارائه راهبرد توسعه سدهای زیرزمینی محسوب شدند.

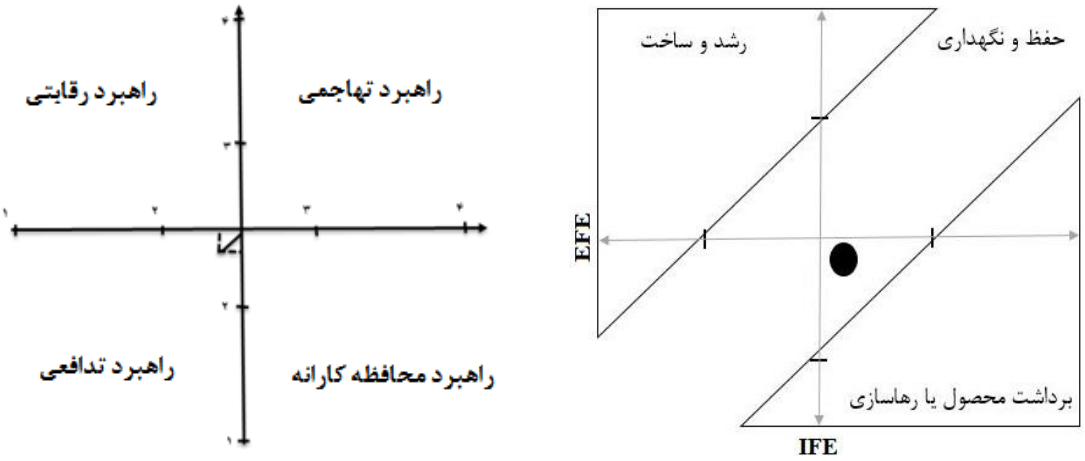
جدول ۲. ماتریس عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها)

	عوامل خارجی	رتبه	اهمیت نسبی	ارزش نهایی
فرصت‌ها (SO)	ترمیم، تثبیت و افزایش پوشش گیاهی (کارانس، ۱۹۸۷) (O_1)	۴	۰/۰۷۶	۰/۳۰۴
	تثبیت و پایداری آب قابل‌برداشت (O_2)	۱	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳
	ایجاد فعالیت‌های اقتصادی - کشاورزی پایدار و سیستماتیک ناحیه‌ای (O_3)	۲	۰/۰۷۲	۰/۱۴۴
	حل اختلاف ناحیه‌ای با تمرکز منطقه‌ای (O_4)	۲	۰/۰۵۰۵	۰/۱۰۱
	تعادل بخشیدن به آب‌های زیرزمینی خروجی از حوزه (O_5)	۲	۰/۰۴۴۵	۰/۰۸۹
	دوری از آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی به نسبت آب‌های سطحی (O_6)	۳	۰/۰۴۳۵	۰/۱۳۰۵
	جبران افت سطح ایستابی با استفاده از تغذیه مصنوعی سفرهای زیرزمینی در نقاط متعدد (O_7)	۳	۰/۰۴۳۵	۰/۱۳۰۵
	رفع محرومیت‌زدایی و تأمین آب آشامیدنی سالم (O_8)	۴	۰/۰۲۸۵	۰/۱۱۴
	جلوگیری از رخداد سیلاب‌های غیرمترقبه و ناپایدار (O_9)	۴	۰/۰۲۴	۰/۰۹۶
	ازدیاد عابدی ساکنین و کارآفرینی (O_{10})	۴	۰/۰۱۸	۰/۰۷۲
	انتشار روشی نوین در استحصال آب‌های زیرزمینی (O_{11})	۴	۰/۰۱۷۵	۰/۰۷
	ایجاد فضاهای تحقیقاتی و آموزشی (O_{12})	۱	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۸۵
	ترویج همکاری بین سازمانی (O_{13})	۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸
تهدیدها (ST)	آسیب به سفره‌های آب زیرزمینی در صورت احداث بدون انجام مطالعات کافی (T_1)	۳	۰/۰۹۲	۰/۲۷۶
	افزایش هزینه و کندی کار در صورت وجود جریان‌های زیر قشری در زمان گودبرداری (T_2)	۱	۰/۰۷۱۵	۰/۰۷۱۵
	افزایش هزینه استخراج آب ذخیره‌شده باتوجه‌به تکنیک‌های ثانویه موردنیاز (T_3)	۱	۰/۰۷۱۵	۰/۰۷۱۵
	احتمال تخریب بدنهٔ سد، براثر تر و خشک‌شدن‌های متوالی، چنانچه از نوع خاکی باشند (T_4)	۲	۰/۰۶۳۵	۰/۱۲۷
	تجمع نمک در مخازن سدهای زیرزمینی به دلیل بالا آمدن آب زیرزمینی تا مجاورت سطح زمین (می‌توان از گیاهان جذب‌کننده نمک یا کم‌کردن ارتفاع دیواره سد استفاده نمود، تلمبه و بست، ۲۰۰۴) (T_5)	۲	۰/۰۴۹	۰/۰۹۸
	تقلیل اعتبارات مکان‌گزینی، ساخت و پایش در سال‌های بعد (T_6)	۲	۰/۰۴	۰/۰۸
	عدم طرح و سرپرست مشخص‌شده در ارتباط با سدهای زیرزمینی (سلامی، ۱۳۸۵) (T_7)	۲	۰/۰۳۳۵	۰/۰۶۷
	افزایش خشکسالی و افت جریان آب (T_8)	۳	۰/۰۳۳	۰/۰۹۹
	ازدیاد درخواست بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی و زیر قشری (T_9)	۳	۰/۰۲۹۵	۰/۰۸۸۵
	انحلال حقابه‌های پایین‌دست (T_{10})	۳	۰/۰۱۵	۰/۰۴۵
	امتیاز کلی عوامل خارجی		**۲/۳۶۴**	

انتخاب راهبرد

در این مرحله از پژوهش، با درنظرگرفتن یافته‌های مرحله‌های پیشین و مجموع ارزش نهایی شاخص‌ها، اقدام به ترسیم نمودار راهبردهای چهارگانه در این تحقیق شد و بر اساس آن اقدام به تعیین راهبرد کلی شد (شکل ۴). راهبرد کلی در این مرحله با توجه به محور xها که در آن جمع ارزش نهایی عوامل داخلی و محور yها که از مجموع ارزش نهایی عوامل خارجی تعیین شده، در محل تلاقی راهبرد کلی رسیدن به هدف تعیین می‌شود. شکل ۴ نشانگر اهمیت بالاتر راهبرد تدافعی یعنی

رهبری هزینه یا پیمان‌سپاری است.



شکل ۴. ماتریس، نمودار راهبردهای چهارگانه و تعیین راهبرد کلی

راهبردهای ترکیبی

برحسب راهبردهای جامع تهیه‌شده در مدل تحلیلی SWOT که راهبرد توسعه‌ای می‌باشد، در مجموع ۸ راهبرد باتوجه‌به نظر کارشناسان و خبرگان تعیین شد (جدول ۳). سپس به ارزیابی و اولویت‌بندی راهبردها با بهره‌گیری از ماتریس کمی QSPM پرداخته شد (جدول ۴). نتایج جدول ۴ حکایت از قرارگیری راهبرد افزایش سطح جریان آب‌های منطقه‌ای با انتخاب مدیران تحصیل‌کرده در زمینه آب (راهبرد شش) و تعادل‌بخشی به منابع آب خروجی از حوزه با احداث سازه‌های مدرن ذخیره‌ای (راهبرد چهار) در اولویت‌های اول و دوم اجرا در منطقه موردمطالعه بود.

جدول ۳. راهبردهای ۸ گانه انتخاب شده در این مطالعه

	برنامه‌های انتخابی از راهبردها
راهبرد یک	بازسازی، اثبات و گسترش پوشش گیاهی در مناطق مختلف مناسب احداث سدهای زیرزمینی در جهت حفظ منابع آب باکیفیت (WT)
راهبرد دو	تشکیل مراکز پژوهشی باهدف کاهش هزینه‌ها و آبادانی منطقه (WO)
راهبرد سه	بهره‌گیری از دانش‌های روز دنیا در برآورد محاسبات احداث تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی (SO)
راهبرد چهار	تعادل‌بخشی به منابع آب خروجی از حوزه با احداث سازه‌های مدرن ذخیره‌ای (ST)
راهبرد پنج	تهیه و تدوین برنامه جامع و دقیق در راستای ترسیم نمودار سازمانی و اخذ بودجه لازم در جهت رفع مشکلات منابع آب و محیط‌زیست (WT)
راهبرد شش	افزایش سطح جریان آب‌های منطقه‌ای با انتخاب مدیران تحصیل‌کرده در زمینه آب (ST)
راهبرد هفت	اجرای کلاس‌های علمی، ترویجی و آموزشی برای مردم حوزه و مسئولین باتوجه‌به مدرن بودن روش استحصال سدهای زیرزمینی (SO)
راهبرد هشت	کاهش مخارج استحصال آب ذخیره‌ای با افزایش آگاهی مسئولین و بومیان (WT)

جدول ۴. ماتریس کمی QSPM

راهبردهای ترکیبی	راهبرد یک	راهبرد دو	راهبرد سه	راهبرد چهار	راهبرد پنج	راهبرد شش	راهبرد هفت	راهبرد هشت
امتیاز نهایی قوت‌ها	۱/۵۵۳	۱/۶۰۸	۱/۰۹۲	۱/۶	۱/۵۴۶۵	۱/۸۰۴	۰/۸۹۵۵	۱/۱۶۷۵
امتیاز نهایی ضعف‌ها	۱/۱۲۵	۱/۳۰۶	۱/۶۵۲۵	۱/۷۴۲	۱/۲۲۲۵	۱/۲۵۳۵	۱/۱۲۱	۱/۱۱
امتیاز نهایی فرصت‌ها	۱/۶۵۴	۱/۵۸۵۵	۱/۲۹۶	۱/۴۱۳	۱/۶۸	۱/۸۴۹۵	۱/۷۴۳	۱/۶۹۳
امتیاز نهایی تهدیدها	۰/۵۶۶	۱/۱۴۱۵	۱/۶۵۹۵	۱/۰۶۵	۰/۸۷۲	۱/۱۶۷۵	۱/۵۵۱۵	۱/۶۹۴۵
امتیاز نهایی هر راهکار	۴/۴۰۲۵	۵/۶۴۱	۵/۷	۵/۸۲	۵/۳۲۱	۶/۰۷۴۵	۵/۳۱۱	۵/۶۶۵

بحث

بر اساس نتایج جدول ۱، از بین نقاط قوت تعیین شده، شاخص آسیب‌پذیری و آلودگی کمتر به‌وسیله عوامل انسانی و محیطی با اهمیت‌ترین شاخص انتخاب شدند. شاخص مذکور از اهم ویژگی‌های سدهای زیرزمینی به شمار می‌روند که مطابقت خود را با تحقیقات اسمعلی عوری و همکاران (۱۳۹۵) در جهت کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی به‌خوبی نشان می‌دهد. همچنین، شاخص مدیریت منابع آب چشمه‌ها و قنوات هر ناحیه با ارزش نهایی ۰/۰۰۷۵ از کم‌اهمیت‌ترین شاخص‌های نقاط قوت می‌باشد که با یافته‌های یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) همخوانی دارد. در مطالعه آن‌ها اشاره به حفظ منابع آبی مختلف شد و بر این امر تاکید شد که احداث یک منبع آبی نباید منجر به تخریب سایر منابع آبی (که چشمه و قنات هم می‌تواند جزء آن باشد) شود،از این‌رو باید مدیریت این منابع را جدا در نظر گرفت. به عبارت دیگر، با بهره‌گیری از نقاط قوت موجود، می‌توانیم حداکثر بهره‌برداری را از فرصت‌ها داشته باشیم.

همچنین، از بین نقاط ضعف تعیین شده، محدود بودن مناطق مناسب احداث سدهای زیرزمینی به دلیل نیاز به شیب کمتر از ۵ درصد به‌عنوان کارسازترین شاخص به دست آمد. این نتیجه با نتایج طالبی و زاهدی (۱۳۹۴) مطابقت دارد که در آن تعداد نقاط محدودی با شیب‌های کمتر از ۵ درصد و روی بستر آبراهه‌ها برای احداث سدهای زیرزمینی مناسب تشخیص‌داده‌شده است. از سوی دیگر، عدم رؤیت کار، نظارت بر کنش‌های اجرایی، دیواره‌های آب‌بند و کنترل آبگذری مشکل و نیازمند مطالعات فراوان باارزش نهایی ۰/۰۴ کم‌تأثیرترین شاخص شناخته شد. این گزاره نیز با نتیجه مطالعه چزگی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد که در آن کم‌ارزش‌ترین نقطه‌ضعف را در بین عوامل داخلی به فقدان شناخت کافی و عدم تعیین حجم دقیق آب ذخیره‌شده در مخزن اختصاص دادند.

نتایج در بخش عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) نشان داد که شاخص ترمیم، تثبیت و افزایش پوشش گیاهی از دیدگاه کارشناسان امر تأثیرگذارترین شاخص است. مشابه با این بررسی، در مطالعه ملکی و همکاران (۱۳۹۷) نیز فرصت ایجاد پوشش گیاهی با احداث سد در شیب‌ها و ارتفاعات مختلف تأیید شده است. علاوه بر این، از بین فرصت‌های انتخاب شده، ترویج همکاری بین سازمانی به‌عنوان کم‌ارزش‌ترین شاخص به دست آمد. این موارد نیز بامطالعه افسری و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد که در آن نبود هماهنگی و روند میان سازمانی را علت اصلی بحران منابع آبی تشخیص دادند. در بین شاخص‌های تهدید، شاخص آسیب به سفره‌های آب زیرزمینی در صورت احداث بدون انجام مطالعات کافی به‌عنوان مهم‌ترین و شاخص انحلال حقابه‌های پایین‌دست به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین در ارائه راهبرد توسعه سدهای زیرزمینی به دست آمدند. این نتایج مطابق بامطالعه مهرنهاد و هادی (۱۳۹۵) است که عدم مطالعات کافی را در راستای نقش مستقیم آن در آلودگی منابع آب زیرزمینی حائز اهمیت تشخیص داده است. همچنین، در مطالعه جهانی شکیب و همکاران (۱۳۹۹)، از نقش افزایش ارتفاع سد احداثی بر روی تالاب و نقش احتمالی آن در کاهش حقابه تالاب‌های پایین‌دست اشاره شده است.

باتوجه‌به انتخاب راهبرد در شکل ۳ که حکایت از اهمیت بالاتر راهبرد تدافعی یعنی رهبری هزینه یا پیمان‌سپاری دارد، در این منطقه سدهای زیرزمینی توانایی توسعه داشته و سازمان‌های مرتبط می‌بایست علاوه بر برطرف نمودن تمامی نقاط ضعف خود به دنبال جلوگیری از تهدیدات خارجی نیز باشد. ازاین‌رو لازم است با بهره‌گیری از نقاط قوت و فرصت‌های سدهای زیرزمینی بر تهدیدها و ضعف‌های موجود غلبه شود. هم‌چنین، در نتایج راهبردهای ترکیبی، راهبرد افزایش سطح جریان آب‌های منطقه‌ای با انتخاب مدیران تحصیل‌کرده در زمینه آب (راهبرد شش) و تعادل‌بخشی به منابع آب خروجی از حوزه با احداث سازه‌های مدرن ذخیره‌ای (راهبرد چهار) در اولویت‌های اول و دوم اجرا در منطقه مورد مطالعه بود. نتایج این پژوهش با مطالعه میرزایی و مصطفی زاده (۱۳۹۷)، در ارتباط با تعادل‌بخشی جریان با احداث سازه‌های تاخیری و جانمایی مناسب این سازه‌ها در حوزه آبخیز جعفرآباد گلستان مطابقت دارد. هم‌چنین، با یافته‌های ولدرگی و همکاران که نشان از کاهش دبی خروجی با احداث سازه‌های مکانیکی در حوزه آبخیزی در جنوب صحرای آفریقا دارد، همخوانی بالایی دارد (Wolearegay, 2024). لازم به ذکر است به‌منظور ایجاد سدهای زیرزمینی در منطقه مذکور و مناطق مشابه می‌بایست ابتدا بازخورد، افزایش در میزان سطح آبهای منطقه‌ای را در نظر گرفت که این امر بدون استفاده مدیران کارآزموده در رأس امور

میسر نخواهد شد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه کاربردی از مدل تحلیلی SWOT و ماتریس کمی QSPM به‌منظور تأسیس سدهای زیرزمینی استفاده شد که نتایج دلالت بر اولویت راهبرد تدافعی داشت. همچنین، راهبرد شش (افزایش سطح جریان آب‌های منطقه‌ای با انتخاب مدیران تحصیل‌کرده در زمینه آب) با امتیاز ۶/۰۷۴۵ حائز بالاترین اولویت شد. ازاین‌رو به‌منظور ایجاد سدهای زیرزمینی در منطقه موردنظر و نیز مناطق مشابه می‌بایست، پیش‌وپس از احداث سدهای زیرزمینی، ارزیابی افزایش سطح جریان آب‌های منطقه‌ای با انتخاب مدیران تحصیل‌کرده در زمینهٔ آب انجام شود. باتوجه‌به وقوع مکرر دوره‌های خشک و پیامدهای محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی آن در منطقه موردمطالعه، بهبود و به‌کارگیری شیوه‌های مدیریت پایدار آب ضروری است. یکی از راه‌های مقابله با این مشکلات، احداث سدهای زیرزمینی برای مدیریت استحصال آب‌های زیرزمینی است. در این تحقیق، یک روش جامع برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ارائه شده است که نتایج آن برای مسئولین و برنامه‌ریزان آب منطقه‌ای و منابع طبیعی استان و حوزه‌های مشابه قابل‌استفاده است. در نتیجه‌گیری، یافته‌های این پژوهش را می‌توان برای مناطق مشابه تحقیق حاضر و به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک در نظر گرفت.

منابع

ابطحی، سید احسان؛ امیر کاردوست، علی اصغر؛ صداقت شایگان، داوود (۱۴۰۲). ارائه مدل ارزیابی و مدیریت ریسک زیرساخت‌های حوزه آب‌وفاضلاب با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: استان مرزی)، *آب و توسعه پایدار*. ۱۰ (۴)، ۵۹-۷۰. doi: 10.22067/jwsd.v10i4.2307-1255

اسدی، ابوالفضل؛ کازرونی، حنیف (۱۳۹۹). مروری بر روشهای احداث سد زیرزمینی به‌عنوان طرح توسعه آبخیزداری. *ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۸(۳۰)، ۳۵-۴۳. https://www.wmji.ir/article_254387_142608333a21e1bfdf9f94634fd8c13e.pdf

اسمعلی عوری، ابادر؛ گلشن، محمد؛ خرمی، کیوان (۱۳۹۵). اولویت‌بندی محورهای مناسب برای احداث سد زیرزمینی در حوضهٔ آبخیز دوست‌بیگلو. *پژوهشهای جغرافیای طبیعی*، ۴۸ (۴)، ۶۴۵-۶۵۹. doi: 10.22059/jphgr.2016.60834

افخمی، حمیده (۱۳۹۷). ارائه راهبرد مدیریتی مناسب با استفاده از مدل تلفیقی QSPM-SWOT با هدف ساماندهی عشایر (مطالعه موردی: طایفه عشایری گود عرب‌طاهری طبس). *ترویج و توسعه آبخیزداری*، دوره ۶(۲۳)،۴۰-۴۹. https://www.wmji.ir/article_254770.html

افسری، عبدالحمید؛ حاجی ناصری، سعید؛ فاضلی، محمد؛ فیرحی، داوود (۱۳۹۶). مدلِ داده‌بنیاد بررسی جامعه‌شناختی حکمرانی آب در بحرانِ دریاچه‌ی ارومیه. *مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی*، ۷ (۲۵)، ۵۳-۷۲. https://www.sid.ir/paper/229923/fa

بیاتی خطیبی، مریم؛ ساری صراف، بهروز (۱۴۰۳). شناسایی کانون‌های در معرض خطر فرسایش بادی در جنوب شرق دریاچه ارومیه، مطالعه موردی: شهرستان‌های بناب و ملکان. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۱ (۳۹)، ۱۱۹-۱۴۰. doi: 10.22034/hyd.2024.60434.1728

بیرانوندی، وحید (۱۳۹۹). نیازسنجی و مکانیابی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی. *انتشارات موسسه آموزشی تالیفی ارشدان*، ۹۴. https://www.gisoom.com/book/11661570

جهانی شکیب، فاطمه؛ ملک محمدی، بهرام؛ یوسفی روبیات، الهام؛ عالیپور، مهدی (۱۳۹۶). تدوین راهبردهای مدیریتی به کمک روش نوین ارزیابی آسیب‌پذیری *اکوسیستم‌های تالابی. علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۹ (۳۲)، ۳۷۷-۳۹۱. doi: 10.22034/jest.2017.11339

چزگی، جواد؛ ملکی نژاد، حسین؛ اختصاصی، محمدرضا؛ نخعی، محمد (۱۳۹۷). ارائه راهبرد جامع و مناسب جهت توسعه احداث سد زیرزمینی با استفاده از مدل SWOT و ماتریس کمی QSPM (مطالعه موردی: حوضه کریان). *علوم آب‌وخاک*، ۲۲ (۱)، ۱۸۷-۱۹۸. dor: 20.1001.1.24763594.1397.22.1.18.7

خرازی، پوریا؛ یزدانی، محمدرضا؛ آرا، هایده؛ خزائل پور، پیام (۱۳۹۶). مکانیابی سد زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در حوضه آبخیز دشت کویر، *اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۲۶(۱۰۳)، ۱۷۷-۱۸۵. dor: 20.1001.1.25883860.1396.26.103.14.5

درفشان، فرید؛ حیدرنژاد، محمد؛ بردبار، امین؛ دانشیان، حسن (۱۳۹۶). مکان‌یابی محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با

استفاده از روش AHP تصمیم گیری چند معیاره. *مهندسی آب*، ۲ (۴)، ۹-۲۰. https://journals.iau.ir/article_531713.html

زاهدی، امیر احسان (۱۳۹۲). *تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از شبیه‌سازی بیلان آب (مدل SWAT) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز دورنگر درگز*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، رشته آبخیزداری.

زند، مهران؛ سماعی، رنگینه (۱۳۹۶). بررسی مقدار و شدت بارش‌های مولد سیل در حوضه آبریز خرم‌آباد. *نیوار*، ۴۱ (۹۶)، ۱-۸. doi: 10.30467/nivar.2017.44813

شیرین حصار، راضیه؛ گواهی، امیر (۱۴۰۲). مدیریت جامع منابع آب برای آینده‌ای پایدار با استفاده از مدل SWOT (مطالعه موردی: شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی). *آب و توسعه پایدار*، ۱۰ (۴)، ۲۸-۱۵. doi: 10.22067/jwsd.v10i4.2307-1256

طالبی، علی؛ زاهدی، احسان (۱۳۹۴). تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از تئوری منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز درونگر درگز). *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۹ (۳۰)، ۴۱-۵۰. http://jwmsei.ir/article-1-541-fa.html

کردی، رضوان؛ فرامرزی، مرزبان؛ کریمی، حاجی؛ گرایی، پرویز؛ یارمحمدی، احسان (۱۳۹۵). مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایران (مطالعه موردی: مهران، استان ایلام). *مدیریت حوزه آبخیز*، ۷ (۱۳)، ۱۶۴-۱۷۲. doi: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.172

معصومی، مصطفی؛ وائلی، عارف؛ کریمی، غلامحسین؛ بوالحسنی، کیوان؛ کلانی، اردشیر؛ انصاری، حسین (۱۴۰۱). مدلسازی منابع و مصارف منابع آب حوضه‌های آبریز از طریق پیاده‌سازی حکمرانی داده در رصدخانه آب و انرژی. *آب و توسعه پایدار*، ۹ (۴)، ۱۲۳-۱۳۰. https://jwsd.um.ac.ir/article_43679.html

ملکی، محمد؛ توکلی صبور، سید محمد؛ جوان، فرهاد (۱۳۹۷). تحلیل اثرات احداث سد بر پوشش گیاهی نواحی پیرامونی در ارتفاع و شیب های مختلف مطالعه ی موردی: سدهای سلیمان شاه و گاوشان. *پژوهش‌های مکانی فضایی*، ۲ (۲)، ۱۰۲-۱۱۷. https://sid.ir/paper/270593/fa

مهرنهاد، حمید؛ بوردارا، هادی (۱۳۹۵). مطالعه خطرات زیست محیطی آلاینده های منطقه مهریز در ایجاد آلودگی روی منابع آب زیرزمینی آبخوان یزد. *زمین‌شناسی و مهندسی*. ۹(۲-۱)، ۴۵-۵۷. https://www.sid.ir/paper/512319/fa

میرزایی، شهناز؛ مصطفی زاده، رئوف (۱۳۹۷). تغییر پاسخ هیدروگراف واحد آبخیز در اثر احداث سازه‌های کوتاه تأخیری. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۹ (۲)، ۳۷-۴۹. doi: 10.22125/iwe.2019.87265

یاراحمدی، داریوش؛ بیرانوند، حجت‌اله (۱۳۹۳). *جغرافیای طبیعی لرستان*. انتشارات دانشگاه لرستان، ۲۴۷. https://climatology.ir/wp-content/uploads/2019/04.pdf

یوسفی، مهیار؛ فرخزاده، بهنوش؛ بساطی، سمیرا (۱۳۹۶). اولویت‌بندی مناطق احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش میانگین هندسی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی. *اکوهیدرولوژی*، ۴ (۳)، ۶۶۳-۶۷۲. doi: 10.22059/ije.2017.62494

References

Abtahi, S.E., Kardoost, A., Asghar, A., & Sedaghat Shaygan, D. (2013). Presenting a model for assessing and managing risk in water and wastewater infrastructures with a passive defense approach (case study: Border province). *Water and Sustainable Development, 10*(4), 59-70. doi: 10.22067/jwsd.v10i4.2307-1255. (In Persian).

Afkhami, H. (2018). Providing an appropriate management strategy using the integrated QSPM-SWOT model with the aim of organizing nomads (Case study: Goud Arab Taheri nomadic tribe of Tabas). *Watershed Development and Promotion. 6*(23);40-49. https://www.wmji.ir/article254770.html. (In Persian).

Afsari, A.H., Haji Naseri, S., Fazeli, M., & Fairhi, D. (2017). A data-based model for sociological investigation of water governance in the Lake Urmia crisis. *Strategic Studies in Public Policy, 7*(25), 53-72. https://www.sid.ir/paper/229923/fa. (In Persian).

Asadi, A., & Kazerouni, H. (2019). A review of methods for constructing underground dams as a watershed development plan. *Watershed Development and Promotion, 8*(30), 35-43. https://www.wmji.ir/article_254387_142608333a21e1bfdf9f94634fd8c13e.pdf. (In Persian).

Bayati Khatibi, M., & Sari Saraf, B. (2014). Identification of wind erosion risk areas in the southeast of Lake Urmia, case study: Bonab and Malekan counties. *Hydrogeomorphology, 11*(39), 119-

140. doi: 10.22034/hyd.2024.60434.1728. (In Persian).

Beiranvandi, V. (2012). Needs assessment and location of suitable areas for underground dam construction. Publications of the *Arshadhan Educational Institute*, 94. https://www.gisoom.com/book/11661570. (In Persian).

Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development Report. *npj Clean Water*, *2*, 15. doi: 10.1038/s41545-019-0039-9

Chazgi, J., Maleknejad, H., Haqqas, M.R., & Nakhaei, M. (2018). Providing a comprehensive and appropriate strategy for the development of underground dam construction using the SWOT model and the quantitative QSPM matrix (case study: Kiryan Basin). *Soil and Water Sciences, 22*(1), 187-198. dor: 20.1001.1.24763594.1397.22.1.18.7. (In Persian).

Darfashan, F., Heydarnejad, M., Bordbar, A., Daneshian, H. (2017). Locating suitable sites for constructing underground dams using the AHP multi-criteria decision-making method. *Water Engineering. 2*(4); 9-20. https://journals.iau.ir/article_531713.html. (In Persian).

EsmaaliOuri, A., Golshan, M., & Khorami, K. (2016). Prioritizing suitable axes for constructing an underground dam in the Dost-Biglo watershed. *Physical Geography Research, 48*(4), 645-659. doi: 10.22059/jphgr.2016.60834. (In Persian).

Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F., & Castelli, F. (2008). A methodology for the preselection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali. *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C, *33*(1–2), 74-85. doi: 10.1016/j.pce.2007.04.014

Ishida, S., Tsuchihara T., Yoshimoto S., & Imaizumil M (2011). Review Sustainable Use of Groundwater with Underground Dams. *Japan Agricultural Research Quarterly*: JARQ, *45*, 51-61. doi: 10.6090/jarq.45.51

Jahani Shakib, F., Malek Mohammadi, B., Yousefi Rubiat, E., & Alipour, M. (2017). Developing management strategies using a new method for assessing the vulnerability of wetland ecosystems. *Environmental Science and Technology*, *19*(32), 377-391. doi: 10.22034/jest. 2017.11339. (In Persian).

Jamali, I.A., Olofsson, B., & Mörtberg, U. (2013). Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. *Environmental Earth Sciences*, *70*(6), 2511-2525. doi: 10.1007/ s12665-013-2295-1

Kharazi, P., Yazdani, M.R., & Khazealpour, P (2019). Suitable identification of underground dam locations, using decision-making methods in a semi-arid region of Iranian Semnan Plain. *Groundwater for Sustainable Development*, *9*, 100240. doi: 10.1016/j.gsd.2019.100240

Kharrazi, P., Yazdani, M.R., Ara, H., & Khazaelpour, P. (2017). Location of underground dam using the Analytic Hierarchy Process in the Desert Plain Watershed, *Geographic Information Sepehr, 26*(103), 177-185. dor: 20.1001.1.25883860.1396.26.103.14.5. (In Persian).

Kordi, R., Faramarzi, M., Karimi, H., Gerai, P., & Yarmohammadi, E. (2016). Locating underground dams in arid and semi-arid regions of western Iran (Case study: Mehran, Ilam province). *Watershed Management, 7* (13), 164-172. doi: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.172. (In Persian).

Kumar, S. (2024). Design of Rain Water Harvesting System for Efficient Water Scarcity and Flood Management in India. *International Journal of Environment and Climate Change*, *14* (6), 295-303. doi: 10.9734/ijecc/2024/v14i64229

Maleki, M., Tavakoli, S., S.M., & Javan, F. (2018). Analysis of the effects of dam construction on the vegetation of the surrounding areas at different altitudes and slopes. Case study: Soleiman Shah and Gavshan dams. *Spatial Research. 2*(2), 102-117. https://sid.ir/paper/270593/fa. (In Persian).

Masoumi, M., Vaeli, A., Karimi, G.H., Boalhassani, K., Kalani, A., & Ansari, H. (2012). Modeling water resources and uses of watersheds through the implementation of data governance in the Water and Energy Observatory. *Water and Sustainable Development. 9*(4), 123-130. https://jwsd.um.ac.ir/article_43679.html. (In Persian).

Mehrnehad, H., & Bordara, H. (2016). Study of environmental risks of pollutants in Mehriz region in causing pollution on groundwater resources of Yazd aquifer. *Geology and Engineering.*

9(2-1), 45-57. https://www.sid.ir/paper/512319/fa. (In Persian).

Mirzaei, S., & Mostafazadeh, R. (2018). Change in the response of the hydrograph of a watershed unit due to the construction of short delay structures. *Iranian Irrigation and Water Engineering. 9*(2), 37-49. doi: 10.22125/iwe.2019.87265. (In Persian).

Musie, W., & Gonfa, G. (2023). Fresh water resource, scarcity, water salinity challenges and possible remedies: A review. *Heliyon, 9* (8), e18685. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18685

Panhwar, A., Abro, R., Kandhro, A., Khaskheli, A.R., Jalbani, N., Gishkori, K.A., Mahar, A.M., & Qaisar, S. (2022). Global Water Mapping, Requirements, and Concerns over Water Quality Shortages. Water Quality - New Perspectives. *IntechOpen*, 108331. doi: 10.5772/intechopen. 108331

Radmehr, A., Bozorg-Haddad, O. & Loáiciga, H.A. (2022). Integrated strategic planning and multi-criteria decision-making framework with its application to agricultural water management. *Scientific Reports*, *12*, 8406. doi: 10.1038/s41598-022-12194-5

Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H., & Abolhasani, A. (2023). Selecting proper sites for underground dam construction using Multi-Attribute Utility Theory in arid and semi-arid regions. *Journal of Mountain Science*, *20*(1), 197-208. doi: 10.1007/s11629-021-7262-9

Safdari, Z., Nahavandchi, H., & Joodaki, G. (2022). Estimation of Groundwater Depletion in Iran's Catchments Using Well Data. *Water*, *14*, 131. doi: 10.3390/w14010131

Sahadevan, D.K., & Pandey, A.K. (2023). Groundwater over-exploitation driven ground subsidence in the himalayan piedmont zone: Implication for aquifer health due to urbanization. *Journal of Hydrology*, *617* (C), 129085. doi: 10.1016/j.jhydrol.2023.129085

Shirin Hesar, R., & Ghawati, A (2013). Comprehensive water resources management for a sustainable future using the SWOT model (Case study: North Khorasan Regional Water Company). *Water and Sustainable Development. 10*(4), 15-28. doi: 10.22067/jwsd.v10i4. 2307-1256. (In Persian).

Talebi, A., & Zahedi, E. (2015). Determining areas susceptible to underground dam construction using fuzzy logic theory and hierarchical analysis (Study area: Darongar Dargaz watershed). *Iranian Watershed Science and Engineering. 9*(30), 41-50. http://jwmsei.ir/article-1-541-fa.html. (In Persian).

Teng, X., Li, W., Yu, S., & Li, X. (2024). A study on the division and determination of characteristic indexes of underground reservoirs under inclined bottom plates. *Water Supply*, *24*(5), 1825-1841. doi: 10.2166/ws.2024.095

Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., van Vliet, M.T.H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P., & Wiberg, D. (2016). Modeling global water use for the 21st century: the Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, *9*, 175–222. doi: 10.5194/gmd-9-175-2016

Woldearegay, K., Grum, B., Hessel, R., van Steenbergen, F., Fleskens, L., Yazew, E., Tamene, L., Mekonnen, K., Reda, T., & Haftu, M. (2024). Watershed management, groundwater recharge and drought resilience: An integrated approach to adapt to rainfall variability in northern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, *12*(3), 663-683. doi: 10.1016/j.iswcr.2023.08.009

Yarahmadi, D., & Beiranvand, H (2014). *Physical Geography of Lorestan. Lorestan University Publications*, 247. https://climatology.ir/wp-content/uploads/2019/04.pdf. (In Persian).

Yousefi, M., Farrokhzadeh, B., & Basati, S. (2017). Prioritizing areas for underground dam construction using the geometric mean method in a *geographic information system environment. Ecohydrology. 4*(3), 663-672. doi: 10.22059/ije.2017.62494. (In Persian).

Zahedi, A.E. (2013). Determining areas susceptible to underground dam construction using water balance simulation (SWAT model) and analytical network process (ANP) in the study area: *Dornagar Dargaz watershed. Master's thesis, Yazd University*, Faculty of Natural Resources and Desertification, Watershed Management. (In Persian).

Zand, M., & Samai, R. (2017). Study of the amount and intensity of flood-producing rainfall in the Khorramabad watershed. Nivar, *41*(96), 1-8. doi: 10.30467/nivar.2017.44813. (In Persian).