

Prioritization of Underground Dam Axes in the Shahrekord Watershed using Multi-Criteria Ranking method

Mitra Aghababei¹, Sayyed Hassan Tabatabaei^{2*} and Rohallah Fatahinafchi²

Extended Abstract

Introduction:

The Shahrekord plain faces chronic water scarcity, especially during dry seasons, and increasing dependence on groundwater resources to meet domestic, agricultural, and industrial demands. However, uncontrolled groundwater extraction has resulted in declining water tables and reduced aquifer sustainability, highlighting the urgent need for alternative water management strategies. Among the available solutions, subsurface dams have gained attention as an effective and environmentally friendly technique for controlling subsurface flow, enhancing groundwater recharge, and improving water storage capacity in alluvial aquifers. The successful implementation of subsurface dams critically depends on the proper selection of suitable locations, which requires a comprehensive evaluation of multiple hydrogeological, environmental, and socio-economic factors. Accordingly, the main objective of this study is to identify suitable sites and prioritize potential locations for subsurface dam construction within the Shahrekord Plain watershed using an integrated GIS and Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) framework.

Materials and Methods

This research adopted a structured two-stage methodological framework. In the first stage, a GIS-based suitability analysis was conducted to identify potential locations suitable for subsurface dam construction. As a result of this process, 12 candidate dam axes were identified as suitable for further analysis. Detailed information regarding this stage is presented in the previous paper. In the second stage, the Analytical Hierarchy Process (AHP) was employed as the MCDM tool to prioritize the selected axes. The decision hierarchy was structured into main criteria, including groundwater quantity/quality, reservoir characteristics, axis conditions, and socio-economic factors, each further subdivided into relevant sub-criteria. Pairwise comparison matrices were developed based on expert judgment, field observations, and a literature review, and consistency ratios were checked to ensure the logical reliability of the comparisons. The weights of criteria were calculated using the geometric mean method. To address uncertainty and potential bias in expert weighting, five different decision scenarios were defined. In Scenario 1, all main criteria were assigned equal importance, representing a neutral decision perspective. In Scenarios 2 to 5, each scenario emphasized one dominant criterion by assigning it a higher relative weight compared to the other criteria, allowing for sensitivity analysis of the decision model. For each scenario, a composite suitability index was calculated for all 12 candidate axes by aggregating standardized criterion values using weighted linear combination methods. Hydrogeological parameters, surface runoff, recharge conditions, soil permeability, and socio-economic indicators were collected and analyzed.

Results and Discussion

The results of the multi-scenario AHP-GIS analysis revealed that although some variations occurred in rankings across different weighting scenarios, the overall prioritization pattern remained relatively stable, indicating the robustness of the decision model. Among the 12 candidate axes, Axis 54 consistently ranked as the most suitable site for subsurface dam construction in all scenarios. This high

1- Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, CHB, Iran

2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, CHB, Iran

* Corresponding Author: Tabatabaei@sku.ac.ir

Received: 2026/06/24

Accepted: 2026/07/22

ranking was mainly attributed to its favorable hydrogeological and geomorphological characteristics, including relatively thick alluvial deposits, substantial subsurface flow availability, moderate slopes, and minimal environmental constraints. Furthermore, its limited negative impact on downstream water users strengthened its environmental and socio-economic acceptability. In contrast, Axis 65 consistently ranked as the least suitable option across all scenarios. The main limiting factors for this site included relatively steep topographic gradients, insufficient aquifer thickness, lower permeability of subsurface materials, and reduced groundwater storage capacity. Sensitivity analysis of the five scenarios indicated that groundwater quantity-related criteria had the greatest influence on site prioritization outcomes, followed by reservoir characteristics such as sediment thickness, permeability, and storage capacity. Socio-economic criteria, including accessibility, agricultural water demand, and proximity to settlements, also played a significant role in refining the final rankings. Water quality parameters were particularly important in excluding areas potentially affected by salinity sources, evaporitic formations, or anthropogenic contamination. The integration of GIS with AHP proved to be a powerful approach for managing complex spatial decision problems. The scenario-based approach further enhanced model reliability by demonstrating that the final ranking was not overly sensitive to minor changes in weighting assumptions.

Conclusion:

This study demonstrated that integrating GIS-based spatial analysis with the AHP provides an effective and reliable framework for identifying and prioritizing subsurface dam sites in complex hydrogeological environments. Applying this methodology in the Shahrekord watershed led to the identification of 12 suitable candidate axes and their evaluation under five different decision-making scenarios. The results consistently identified Axis 54 as the most suitable location, while Axis 65 was determined to be the least suitable due to its unfavorable structural and hydraulic characteristics. Overall, the findings indicated that hydrogeological parameters, particularly groundwater availability and aquifer storage characteristics, were the dominant factors influencing site suitability for subsurface dams. The proposed approach offers a transferable decision-support framework that can be applied to other arid and semi-arid regions.

Keywords: Aquifer management, AHP, Multi-Criteria Decision Making (MCDM), Shahrekord watershed, Subsurface dam siting.

Citation: Mitra Aghababei, M., Tabatabaei, S.H., Fatahinafchi, R., 2026. Prioritization of Underground Dam Axes in the Shahrekord Watershed using Multi-Criteria Ranking method. *Iranian Water Research Journal*, 20(61), pp. 113-124 <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2026.15129.2653>

Copyright: © Authors, Published by Iranian Water Research Journal. This is an open-access article distributed under the CC-BY 4.0 (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



اولویت‌بندی محورهای مناسب سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد با تصمیم‌گیری چندمعیاره

میترا آقابابایی^۱، سیدحسن طباطبائی^{۲*} و روح الله فتاحی^۳

چکیده

استان چهارمحال و بختیاری به دلیل نوسانات شدید بارش و توپوگرافی پیچیده، با محدودیت جدی منابع آب سطحی مواجه است. این شرایط موجب افزایش وابستگی به منابع آب زیرزمینی و ضرورت توسعه راهکارهای تغذیه و ذخیره‌سازی مصنوعی آبخوان‌ها شده است. در این پژوهش، مکان‌یابی و اولویت‌بندی محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی در حوضه آبریز دشت شهرکرد با استفاده از تلفیق GIS و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام شد. در مجموع ۴ معیار اصلی شامل منابع آب، ویژگی‌های مخزن، ویژگی‌های محور سد و معیارهای اقتصادی-اجتماعی تعریف و بیش از ۲۰ زیرمعیار بررسی شد. پس از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، ۱۲ محور مناسب برای احداث سد زیرزمینی شناسایی گردید. برای کاهش عدم قطعیت در وزن‌دهی معیارها، ۵ سناریوی تصمیم‌گیری طراحی و سپس برای هر محور، شاخص تناسب (SI) در هر سناریو محاسبه و مقایسه شد. نتایج نشان داد دامنه تغییرات شاخص تناسب محورهای منتخب بین حدود ۰/۳۵ تا ۰/۸۵ قرار دارد که بیانگر قدرت تفکیک مناسب مدل است. محور شماره ۵۴ در هر پنج سناریو رتبه اول را کسب کرد؛ به‌طوری‌که مقدار شاخص تناسب آن همواره بیش از ۰/۸۲ بود. برتری این محور به دلیل ضخامت کم آبرفت در محل محور سد (کمتر از ۱۵ متر)، پتانسیل بالای جریان زیرسطحی (بیش از ۴۰ میلیون مترمکعب در سال) و اثر ناچیز بر منابع آب پایین‌دست است. در مقابل، محور شماره ۶۵ در تمامی سناریوها در رتبه آخر قرار گرفت و مقدار SI آن کمتر از ۰/۳۵ بود که عمدتاً به دلیل شیب نسبتاً زیاد (بیش از ۴ درصد)، سطح محدود مخزن (کمتر از ۲ کیلومتر مربع) و نفوذپذیری پایین آبرفت رخ داده است. به طور کلی، نتایج نشان داد که ترکیب GIS و AHP روشی کارآمد برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی بوده و معیارهای هیدرولوژیکی و مخزنی با سهمی بیش از ۶۰ درصد بیشترین نقش را در تعیین اولویت نهایی محورهای پیشنهادی دارند.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، دشت شهرکرد، سد زیرزمینی، مدیریت آبخوان، AHP.

ارجاع: آقابابایی، م.، طباطبائی، س.ج.، فتاحی، ر.، ۱۴۰۵. اولویت‌بندی محورهای مناسب سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد با تصمیم‌گیری چندمعیاره. مجله پژوهش آب ایران، ۲۰(۶۱)، صص. ۱۱۳-۱۲۴. <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2026.15129.2653>

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

* نویسنده مسئول: Tabatabaei@sku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۳

مقدمه

کاهش مستمر منابع آب زیرزمینی و تشدید تنش آبی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، ضرورت توسعه روش‌های نوین مدیریت و بهره‌برداری پایدار از آبخوان‌ها را بیش از پیش آشکار ساخته است. رشد جمعیت، توسعه فعالیت‌های کشاورزی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و تغییرات اقلیمی موجب شده است که بسیاری از آبخوان‌ها با افت سطح ایستابی و کاهش ذخایر استراتژیک آب مواجه شوند (Lalehzari et al 2009). مطالعات انجام‌شده در آبخوان دشت شهرکرد نشان داده است که علاوه بر افت تراز آب زیرزمینی، کیفیت آب نیز در برخی مناطق تحت تأثیر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، افزایش برداشت از آبخوان و تغییرات کاربری اراضی با روندی کاهشی مواجه شده است. نتایج این بررسی‌ها بیانگر آن است که حفاظت از منابع آب زیرزمینی و افزایش تغذیه طبیعی آبخوان از طریق روش‌های مدیریتی مناسب، می‌تواند نقش مهمی در پایداری کمی و کیفی منابع آب منطقه ایفا کند (Lalehzari and Tabatabaei, 2010). در چنین شرایطی، استفاده از روش‌های تغذیه مصنوعی آبخوان و سازه‌های ذخیره آب زیرسطحی به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارهای افزایش تاب‌آوری منابع آب مورد توجه قرار گرفته است (Mahdavi et al 2012). در این میان، سدهای زیرزمینی به دلیل کاهش تلفات تبخیر، حفظ کیفیت آب، محدود بودن آثار زیست‌محیطی و امکان ذخیره‌سازی آب در درون رسوبات آبرفتی، جایگاه ویژه‌ای در مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی یافته‌اند. با وجود مزایای متعدد سدهای زیرزمینی، عملکرد موفق این سازه‌ها به شدت وابسته به انتخاب و اولویت‌بندی صحیح محل احداث آن‌ها است. شرایط پیچیده هیدروژئولوژیکی، تنوع ویژگی‌های زمین‌شناسی، تفاوت خصوصیات آبخوان‌ها و محدودیت‌های اقتصادی و اجتماعی سبب شده است که تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب گزینه‌های مناسب، به یکی از مهم‌ترین چالش‌های مطالعات مرتبط با توسعه منابع آب زیرزمینی تبدیل شود. از این‌رو، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) طی دو دهه اخیر به عنوان یکی از کارآمدترین ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری در مطالعات مکان‌یابی و ارزیابی پروژه‌های تغذیه مصنوعی آبخوان و سدهای زیرزمینی شناخته شده است. مطالعات مختلف نشان داده‌اند

که تلفیق GIS با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، امکان ارزیابی هم‌زمان معیارهای هیدروژئولوژیکی، هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی، زیست‌محیطی و اقتصادی را فراهم کرده و دقت تصمیم‌گیری را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. در میان روش‌های مختلف تصمیم‌گیری، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به دلیل ساختار منطقی، قابلیت بهره‌گیری از دانش کارشناسان، سادگی اجرا و امکان تعیین اهمیت نسبی معیارها، یکی از پرکاربردترین روش‌ها در مطالعات منابع آب به شمار می‌رود. (Maghribi et al., 2022)

در حوزه سدهای زیرزمینی، (Forzieri et al. (2008 یکی از نخستین چارچوب‌های نظام‌مند برای پیش‌انتخاب محل‌های مناسب احداث سدهای سطحی و زیرزمینی در مناطق خشک را ارائه کردند و نشان دادند که استفاده از تحلیل‌های مکانی می‌تواند تعداد گزینه‌های اولیه را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. در ادامه، Kharazi et al. (2019) با استفاده از GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی را در دشت سمنان شناسایی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری موجب افزایش دقت ارزیابی و کاهش عدم قطعیت در انتخاب گزینه‌های مناسب می‌شود. همچنین، Kharazi et al. (2021) با توسعه یک چارچوب تصمیم‌گیری مبتنی بر GIS در مناطق نیمه‌خشک شمال شرق ایران، اهمیت عواملی نظیر ضخامت آبرفت، شرایط زمین‌شناسی، ویژگی‌های آبخوان و قابلیت ذخیره‌سازی آب زیرزمینی را در موفقیت سدهای زیرزمینی مورد تأکید قرار دادند. در سال‌های اخیر، توسعه فناوری‌های مکانی و روش‌های تصمیم‌گیری موجب گسترش کاربرد این ابزارها در شناسایی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی آبخوان شده است. (Bilal et al. (2025) با استفاده از GIS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آبخوان را در محیط‌های فوق‌خشک شناسایی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که عواملی نظیر شیب، نفوذپذیری خاک، کیفیت آب زیرزمینی، فاصله از آبراه‌ها و ویژگی‌های زمین‌شناسی نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت پروژه‌های تغذیه مصنوعی دارند. همچنین Sharma et al. (2026) با ارائه یک چارچوب ترکیبی مبتنی بر GIS، AHP و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، نشان دادند که تلفیق دانش کارشناسی با مدل‌های

استفاده از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است. در این راستا، با تعریف سناریوهای مختلف وزن‌دهی و محاسبه شاخص تناسب برای هر یک از محورهای منتخب، تلاش شده است چارچوبی برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه‌های اجرایی در منطقه ارائه شود.

مواد و روش‌ها

در بخش اول این پژوهش که در دشت شهرکرد انجام گرفت با استفاده از تحلیل‌های مکانی در محیط GIS، تعداد ۵۱ محور بالقوه برای احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد شناسایی و پس از اعمال معیارهای فنی، هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی، زیست‌محیطی و اجتماعی، ۱۲ محور مناسب انتخاب شد. جزئیات محل پژوهش و محورهای انتخاب شده در مقاله (Aghababaei et al., 2026) آمده است. در بخش دوم که مقاله حاضر است، به منظور تعیین اولویت اجرایی این محورها، از سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS) مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده و رتبه‌بندی بر مبنای شاخص تناسب (Suitability Index) انجام شد.

روش اولویت‌بندی محور احداث سد زیرزمینی

ساختار سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری شامل ۴ معیار اصلی شامل منابع آب، ویژگی مخزن، ویژگی محور سد و معیارهای اقتصادی-اجتماعی بود. معیار منابع آب شامل دو زیرمعیار کمیت و کیفیت آب زیرزمینی بود. کمیت آب بر اساس حجم جریان زیرسطحی قابل ذخیره در هر محور و کیفیت آب بر مبنای شاخص‌های شوری (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) و شاخص ویلکاکس ارزیابی شد. معیار ویژگی مخزن شامل ضخامت آبرفت، سطح مخزن، آبدهی ویژه، شیب مخزن و قابلیت تغذیه مصنوعی بود. در این پژوهش، نقشه سنگ‌بستر بر پایه تلفیق اطلاعات موجود شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، اطلاعات گمانه‌های اکتشافی، ضخامت آبرفت و شواهد ژئومورفولوژیک تهیه شد و از داده‌های ژئوفیزیکی استفاده نشد. بدین ترتیب، نتایج حاصل برای غربالگری اولیه محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی کاربرد داشته و انجام مطالعات ژئوفیزیکی تکمیلی در مرحله طراحی تفصیلی توصیه می‌شود. آبدهی ویژه به‌عنوان شاخص ظرفیت ذخیره آبخوان و شیب مخزن به‌عنوان عامل مؤثر بر حجم ذخیره در نظر گرفته شدند. قابلیت تغذیه

هوشمند می‌تواند دقت شناسایی مناطق مناسب تغذیه آبخوان و کاهش خطر سیلاب را به طور محسوسی افزایش دهد. Singh et al. (2026) نیز با بهره‌گیری از تحلیل همپوشانی وزنی و مدل AHP، اهمیت در نظر گرفتن تغییرات زمانی در کنار داده‌های مکانی را در ارزیابی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی مورد تأکید قرار دادند.

Hamlat et al. (2024) نیز در مطالعه‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک الجزایر تأکید کردند که انتخاب نهایی محل احداث سدهای زیرزمینی باید علاوه بر معیارهای فنی و هیدروژئولوژیکی، بر پایه ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی نیز انجام شود. از سوی دیگر، Zaresefat et al. (2022) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) نشان دادند که به‌کارگیری منطق فازی می‌تواند اثر عدم قطعیت ناشی از قضاوت کارشناسان را کاهش داده و پایداری نتایج تصمیم‌گیری را افزایش دهد. بررسی‌های مروری نیز اهمیت روزافزون استفاده از GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را در مدیریت منابع آب زیرزمینی تأیید می‌کنند. به عنوان مثال Sallwey et al. (2019) با مرور مطالعات انجام‌شده در زمینه تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، نتیجه گرفتند که مدل‌های مبتنی بر GIS و تحلیل چندمعیاره چارچوبی کارآمد برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و تخصیص بهینه منابع فراهم می‌کنند. همچنین Maghribi et al. (2022) در یک مرور نظام‌مند نشان دادند که GIS و روش‌های MCDM در حال تبدیل شدن به رویکرد غالب در شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌های تغذیه مصنوعی و ذخیره‌سازی آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان هستند.

در مرحله نخست این پژوهش، با استفاده از تحلیل‌های مکانی در محیط GIS، تعداد ۵۱ محور بالقوه برای احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد شناسایی و پس از اعمال معیارهای فنی، هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی، زیست‌محیطی و اجتماعی، تعداد ۱۲ محور مناسب برای احداث سد زیرزمینی انتخاب شد. اگرچه این محورها از نظر شرایط فنی و هیدروژئولوژیکی مناسب تشخیص داده شدند، اما همه گزینه‌ها از ارزش اجرایی یکسانی برخوردار نیستند و انتخاب گزینه‌های برتر نیازمند ارزیابی دقیق و اولویت‌بندی بر اساس معیارهای متعدد است. از این‌رو، هدف پژوهش حاضر اولویت‌بندی محورهای منتخب سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد با

مصنوعی نیز بر اساس نفوذپذیری سطحی و موقعیت مخزن نسبت به خروجی حوضه ارزیابی گردید. معیار ویژگی محور سد شامل ضخامت آبرفت در محل احداث سد، طول محور و ویژگی‌های لیتولوژیکی تکیه‌گاه‌ها بود. محورهای کوتاه‌تر با عمق حفاری کمتر و تکیه‌گاه‌های کم‌تراوتر از اولویت بیشتری برخوردار بودند.

معیار اقتصادی-اجتماعی شامل نیاز آبی، دسترسی و تأثیر بر منابع آب پایین‌دست بود. نیاز آبی بر اساس جمعیت بهره‌مند، وسعت اراضی کشاورزی و وجود واحدهای صنعتی ارزیابی شد. دسترسی نیز با توجه به فاصله از روستاها و جاده‌های اصلی تعیین گردید. همچنین به‌منظور جلوگیری از آثار منفی بر منابع آب موجود، میزان تأثیر هر محور بر قنوات و سایر منابع آب پایین‌دست در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ شد.

فرآیند تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی

اهمیت نسبی معیارها و زیرمعیارها از طریق مقایسه زوجی در چارچوب روش AHP و با استفاده از نظرات کارشناسی، مطالعات پیشین و بازدیدهای میدانی تعیین شد. در نهایت، وزن‌های به‌دست‌آمده در محیط GIS تلفیق و شاخص تناسب برای هر محور محاسبه و بر اساس آن اولویت‌نهایی محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی تعیین شد. روش AHP که توسط (Saaty 1994) ارائه شده است، یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) بوده و امکان ارزیابی هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی را فراهم می‌سازد. این روش بر سه اصل اساسی شامل تجزیه مسئله به ساختار سلسله‌مراتبی، مقایسه زوجی معیارها و ترکیب وزن‌ها برای تعیین اولویت‌نهایی گزینه‌ها استوار است. هدف‌نهایی مدل، اولویت‌بندی محورهای منتخب سد زیرزمینی بود. برای این منظور، معیارهای مؤثر در انتخاب محورهای مناسب در قالب یک

تعیین وزن معیارها

برای تعیین وزن معیارها از مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی استفاده شد. در این روش، اهمیت نسبی هر معیار نسبت به سایر معیارها در قالب ماتریس مقایسه‌های زوجی تعیین شد (جدول ۱). وزن‌نهایی هر معیار با استفاده از روش میانگین هندسی محاسبه شد. همچنین به منظور ارزیابی منطقی بودن قضاوت‌ها، نرخ ناسازگاری (CR) برای تمامی ماتریس‌ها محاسبه شد. در صورتی که مقدار CR کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری قضاوت‌ها قابل قبول در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱- وزن نسبی معیارهای اصلی در مدل AHP

ردیف	معیار اصلی	وزن نسبی
۱	آب	۰/۳۱
۲	مشخصات مخزن	۰/۲۸
۳	محور	۰/۱۲
۴	اقتصادی-اجتماعی	۰/۰۸

به‌منظور ارزیابی میزان سازگاری قضاوت‌های خبرگان، شاخص سازگاری (Consistency Index, CI) و نرخ سازگاری (Consistency Ratio, CR) مطابق روش (Saaty 2008) محاسبه گردید. تنها ماتریس‌هایی که مقدار CR آنها کمتر از ۰/۱ بود، قابل قبول تلقی شدند. نتایج نشان داد مقدار CR ماتریس معیارهای اصلی برابر ۰/۰۶۴ و برای تمامی ماتریس‌های زیرمعیار نیز کمتر از ۰/۱ است که بیانگر سازگاری مناسب مقایسه‌های زوجی انجام‌شده است (جدول ۲).

جدول ۲- خلاصه نتایج ارزیابی سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی

ماتریس مقایسه زوجی	تعداد معیار	λ_{max}	CI	RI	CR	وضعیت
معیارهای اصلی	4	۴/۱۷۳	۰/۰۵۸	۰/۹۰	۰/۰۶۴	قابل قبول
شناسایی محل احداث	3	۳/۰۲۸	۰/۰۱۴	۰/۵۸	۰/۰۲۴	قابل قبول
ظرفیت ذخیره مخزن	4	۴/۱۸۱	۰/۰۶۰	۰/۹۰	۰/۰۶۷	قابل قبول
قابلیت اجرای محور	4	۴/۱۶۲	۰/۰۵۴	۰/۹۰	۰/۰۶۰	قابل قبول
معیارهای اقتصادی-اجتماعی	3	۳/۰۳۴	۰/۰۱۷	۰/۵۸	۰/۰۲۹	قابل قبول

نتایج و بحث

در این پژوهش، با تلفیق داده‌های هیدروژئولوژی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و عوامل اقتصادی-اجتماعی در محیط GIS، فرایند مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد انجام شد. در نتیجه تحلیل اولیه و اعمال معیارهای حذف‌کننده، در مجموع ۱۲ محور مناسب برای احداث سد زیرزمینی شناسایی گردید (شکل ۱). این مرحله نشان داد که محدودیت‌های شیب، نبود ضخامت کافی آبرفت و شرایط نامناسب زمین‌شناسی مهم‌ترین عوامل حذف‌گرفته‌ها بوده‌اند.

نتایج وزن‌دهی معیارهای اصلی نشان می‌دهد که معیارهای مرتبط با منابع آب (کمیت و کیفیت آب زیرزمینی) با وزن ۰/۳۱ مهم‌ترین عامل در مدل تصمیم‌گیری بوده‌اند (جدول ۱). این موضوع بیانگر وابستگی شدید انتخاب محورهای مناسب سد زیرزمینی به ظرفیت تأمین آب زیرسطحی در منطقه مطالعاتی است. پس از آن، ویژگی‌های مخزن شامل ضخامت آبرفت، شیب و نفوذپذیری با وزن ۰/۲۸ در رتبه دوم قرار گرفتند که نشان‌دهنده اهمیت مستقیم شرایط زمین‌شناسی و هیدرولیکی در کنترل ظرفیت ذخیره‌سازی است. مطابق با مطالعات مشابه، پارامترهای هیدروژئولوژیکی (۰/۲۱) نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد سدهای زیرزمینی دارند، زیرا رفتار جریان زیرسطحی و پتانسیل تغذیه را کنترل می‌کنند (Sallwey et al., 2019; Maghribi et al., 2022). در مقابل، معیارهای اقتصادی-اجتماعی با وزن ۰/۰۸ کمترین تأثیر را در مدل داشتند، هرچند نقش آن‌ها در امکان‌پذیری اجرایی پروژه همچنان ضروری است. این الگوی وزن‌دهی با نتایج مطالعات Bilal et al. (2025) همخوانی دارد که نشان می‌دهد در مناطق نیمه‌خشک، عوامل فیزیکی و هیدروژئولوژیکی غالب بر عوامل مدیریتی و اجتماعی هستند. این الگو با نتایج مطالعات اخیر همخوانی دارد. به‌عنوان مثال Sharma et al. (2026) نشان دادند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پارامترهای هیدروژئولوژیکی (به‌ویژه ضخامت آبرفت و تغذیه زیرسطحی) بیشترین نقش را در موفقیت سدهای زیرزمینی دارند، در حالی که عوامل اجتماعی نقش مکمل ایفا می‌کنند. همچنین Singh et al. (2026) تأکید کردند که در مدل‌های AHP- GIS، وزن‌دهی به منابع آب معمولاً بیش از ۳۰ درصد اهمیت کل سیستم تصمیم‌گیری را تشکیل می‌دهد که با نتایج این پژوهش سازگار است.

به منظور مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب مناسب‌ترین محورها، از یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده شد. این سیستم با تلفیق داده‌های مکانی، وزن معیارها و امتیاز هر گزینه، امکان رتبه‌بندی محورها را فراهم نمود. در این فرآیند، هر محور بر اساس عملکرد خود در معیارهای مختلف ارزیابی و امتیازدهی شد. برای رتبه‌بندی گزینه‌ها از شاخص تناسب (Suitability Index; SI) استفاده شد. این شاخص از ترکیب وزن معیارها و امتیاز هر گزینه در معیارهای مختلف به دست آمد. مقدار SI بیانگر میزان مطلوبیت هر محور برای احداث سد زیرزمینی است؛ به طوری که محورهایی با مقدار SI بالاتر، از اولویت اجرایی بیشتری برخوردار هستند.

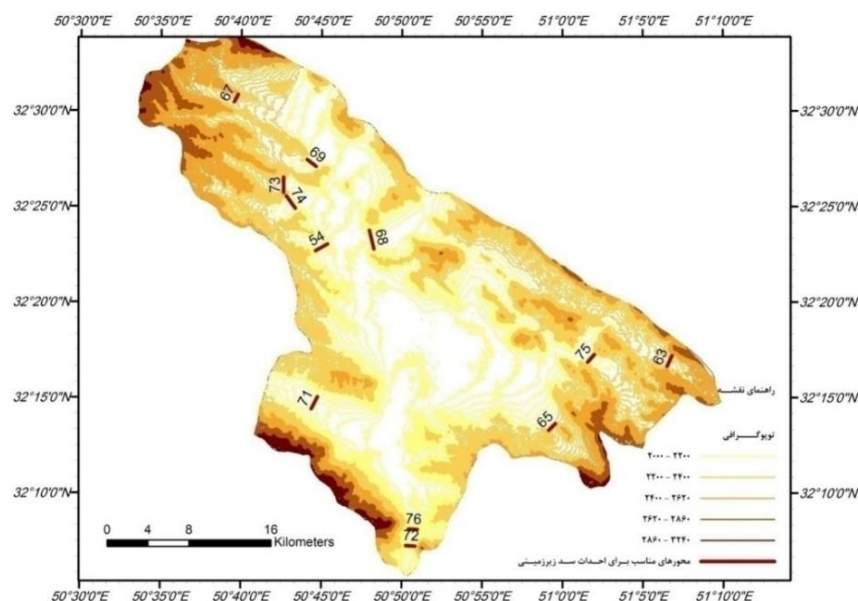
تحلیل سناریوها و حساسیت

به منظور بررسی پایداری نتایج و ارزیابی تأثیر تغییر وزن معیارها، چند سناریوی وزن‌دهی مختلف تعریف شد (جدول ۳). در سناریوی اول تمامی معیارهای اصلی دارای وزن برابر بودند. در سناریوی دوم معیار هیدرولوژیکی با بیشترین وزن در نظر گرفته شد. در سناریوی سوم معیار کیفیت آب اولویت بالاتر یافت. در سناریوی چهارم معیارهای مخزنی شامل ضخامت آبرفت، مساحت و شیب مخزن بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند و در سناریوی پنجم نیز معیارهای اقتصادی-اجتماعی (دسترسی، نیاز آبی و تأثیر بر منابع پایین‌دست) دارای وزن غالب بودند.

جدول ۳- سناریوهای پیشنهادی وزن‌دهی

سناریو	تمرکز اصلی	هدف
S1	وزن پایه AHP	رتبه‌بندی مرجع
S2	آب	تأکید بر منابع آب
S3	مخزن	تأکید بر ذخیره آب
S4	محور	تأکید بر قابلیت اجرا
S5	اقتصادی-اجتماعی	تأکید بر بهره‌برداران

در هر سناریو، اهمیت نسبی معیارها تغییر داده شد و شاخص تناسب برای تمامی گزینه‌ها مجدداً محاسبه گردید. سپس برای مشخص شدن میزان حساسیت نتایج نسبت به تغییر وزن معیارها، رتبه‌بندی محورها در سناریوهای مختلف بررسی شد. در نهایت، رتبه‌بندی نهایی محورها را منتخب بر اساس مقادیر شاخص تناسب و نتایج تحلیل حساسیت ارائه و مناسب‌ترین گزینه برای احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد تعیین شد.



شکل ۱- موقعیت مکانی محورهای منتخب سد زیرزمینی در حوضه دشت شهرکرد

کیفیت آب، ویژگی‌های مخزن و عوامل اقتصادی-اجتماعی وزن غالب دریافت کردند. این رویکرد امکان تحلیل حساسیت مدل را فراهم کرد.

برای بررسی اثر عدم قطعیت در وزن‌دهی معیارها، پنج سناریوی تصمیم‌گیری مختلف تعریف شد (جدول ۴). در سناریوی اول وزن همه معیارها برابر فرض شد، در حالی که در سناریوهای دوم تا پنجم به ترتیب معیارهای کمیت آب،

جدول ۴- سناریوهای مختلف وزن‌دهی معیارها در تحلیل AHP

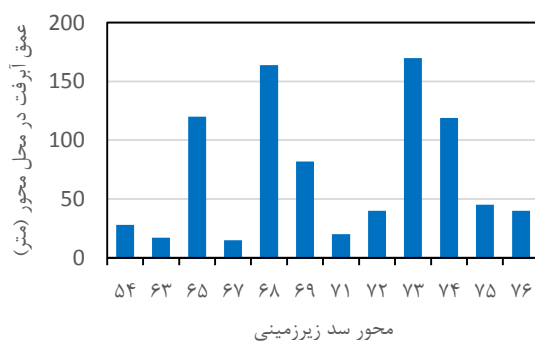
سناریو	آب	مخزن	محور	اقتصادی-اجتماعی	توضیح
S1	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	سناریوی پایه؛ همه معیارهای اصلی دارای وزن برابر
S2	۰/۷۵	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	تأکید بر منابع آب
S3	۰/۰۸	۰/۷۵	۰/۰۸	۰/۰۸	تأکید بر ظرفیت ذخیره مخزن
S4	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۷۵	۰/۰۸	تأکید بر قابلیت اجرای سازه / محور
S5	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۷۵	تأکید بر بهره‌برداران و ملاحظات اقتصادی-اجتماعی

محور ۶۳ و ۷۵ در مجموع به ترتیب رتبه‌های دوم و سوم را احراز نموده‌اند. محور ۶۳ دارای بیشترین اراضی کشاورزی در بازه‌ی ۵ کیلومتری اطراف محور است. علاوه بر آن در این دو محور لیتولوژی تکیه‌گاه و قابلیت تغذیه مصنوعی کاملاً مناسب احداث سد زیرزمینی است. محور ۶۷ نیز جزو محورهای برتر در این اولویت‌بندی است. اگرچه کمترین ضخامت آبرفت را در محل محور سد دارد (شکل ۳)، ولی به دلیل ارتفاع زیاد، حجم مخزن آن حجم مخزن چشمگیر نیست و در سناریوی مخزن محور (سناریوی چهارم) رتبه دهم را به خود اختصاص داده است. همین عامل در رتبه-بندی سناریوی دوم و مجموع نیز مؤثر بوده است. محور ۶۵

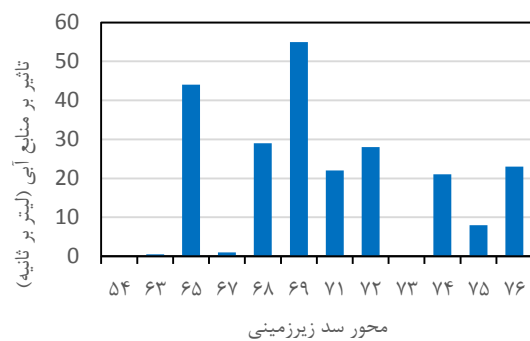
نتایج نشان داد که سد زیرزمینی ۵۴ یکی از بهترین گزینه‌ها برای احداث سد است. این محور در سناریوی اول که همه معیارها دارای ارزش یکسان هستند بهترین رتبه را احراز نموده است و همچنین بهترین گزینه از نظر مجموع و در سناریوی مخزن است. از دیگر خصوصیات مثبت این سد می‌توان به عمق آبرفت کم در محل احداث سازه اشاره کرد که باعث کاهش هزینه‌های طرح خواهد شد. علاوه بر آن با توجه به عدم وجود منابع آب دائمی قابل توجه در پائین دست محور سد، اثرات منفی این سد بر منابع آبی حساس پائین دست به حداقل رسیده است (شکل ۲).

اولویت‌بندی‌ها جزو رتبه‌های آخر هستند. با این تفاوت که در محور ۷۴ معیار مخزن و در محور ۷۱ معیار محور سد نسبت به سایر معیارها وضعیت بهتری دارند. محور ۷۴ از لحاظ تأمین نیاز آبی اراضی کشاورزی وضعیت مساعدی ندارد (شکل ۶). محورهای ۷۲ و ۷۶ به دلیل موقعیت مکانی (واقع در خروجی حوضه آبخیز دشت شهرکرد) از لحاظ کمیت آب زیرسطحی غنی بوده و به همین دلیل بهترین رتبه‌ها را در سناریوی آب محور (سناریوی دوم) کسب نموده‌اند (شکل ۷)، اما کاملاً مشخص است که این دو محور از لحاظ اقتصادی-اجتماعی نسبت به سایر معیارهای اصلی ضعیف‌تر هستند.

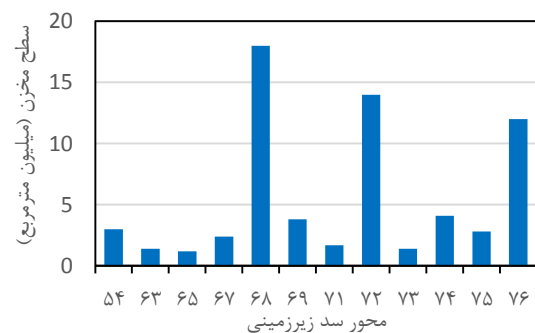
در همه سناریوها و در مجموع اولویت آخر برای احداث سد زیرزمینی در این منطقه است. شیب مخزن در محل این محور به بیشترین مقدار مجاز رسیده است (شکل ۴). این در حالی است که علیرغم ضخامت بسیار خوب مخزن، این محور دارای کمترین سطح مخزن در میان ۱۲ محور انتخابی می‌باشد (شکل ۵). بنابراین، نتایج به‌دست آمده در رابطه با این محور به دلیل وجود مخزنی با حجم کم، توجیه پذیر است. همچنین وجود منابع آبی فراوان در پائین دست این محور یکی از عوامل افول اولویت این محور است. علاوه بر آن با توجه به ضخامت زیاد آبرفت در محل محور که برابر ۱۲۰ متر است، این سد از لحاظ اجرایی تقریباً غیر قابل اجرا و بسیار پرهزینه خواهد بود. محور ۷۴ و ۷۱ نیز در این



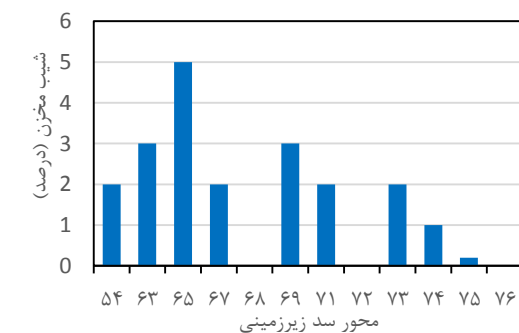
شکل ۳- مقایسه محورها بر اساس عمق آبرفت در محل محور



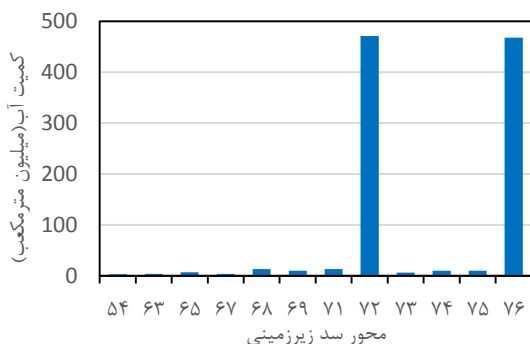
شکل ۲- مقایسه محورها بر اساس کاهش منابع آبی پائین دست سد



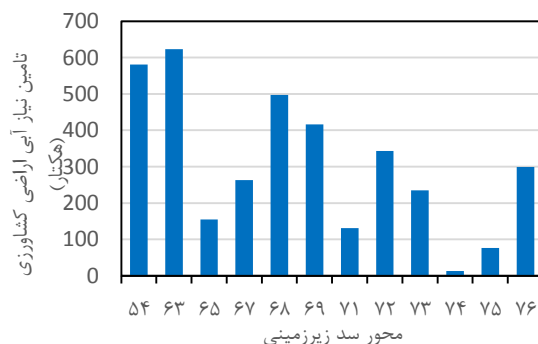
شکل ۵- مقایسه محورها بر اساس سطح مخزن



شکل ۴- مقایسه محورها بر اساس شیب مخزن



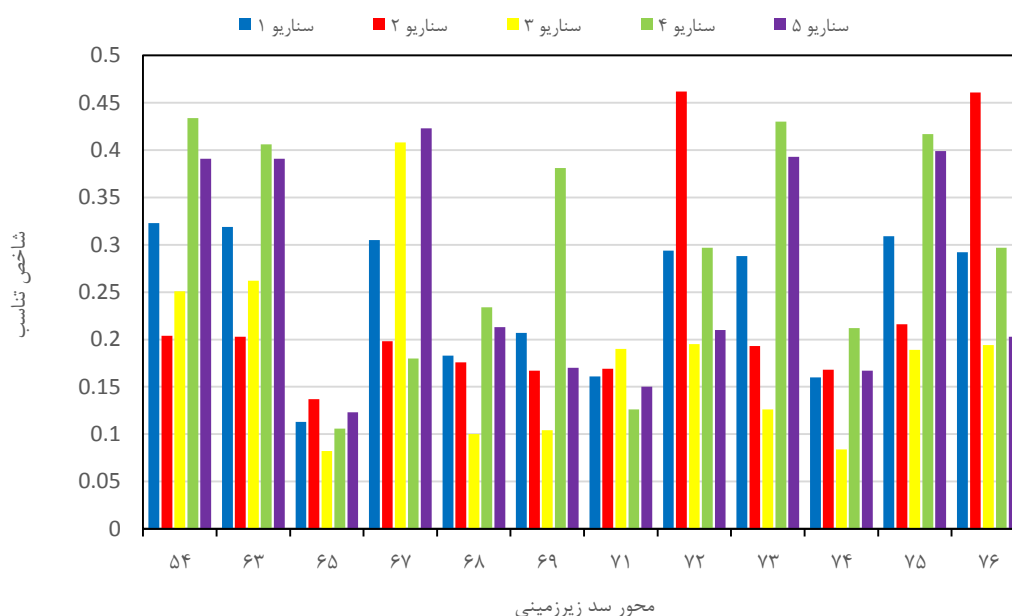
شکل ۷- مقایسه محورها بر اساس کمیت آب



شکل ۶- مقایسه محورها بر اساس تأمین نیاز آبی کشاورزی

بر اساس نتایج تجمیعی، محور ۵۴ در تمامی سناریوها بالاترین مقدار شاخص تناسب را کسب کرد و به عنوان مناسب‌ترین گزینه معرفی شد (شکل ۸). این محور دارای ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی مطلوب شامل ضخامت آبرفت بیش از ۶۰ متر، شیب کمتر از ۲ درصد، جریان زیرسطحی مناسب و حداقل اثر بر منابع پایین‌دست است. برتری این محور را می‌توان به هم‌افزایی سه عامل ظرفیت ذخیره‌سازی بالا، نفوذپذیری مناسب رسوبات آبرفتی و موقعیت مناسب نسبت به شبکه زهکشی منطقه نسبت داد. این نتایج با

مطالعات (Al-Adamat 2012) در خاورمیانه همخوانی دارد که تأکید کردند ضخامت آبرفت و نرخ تغذیه مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده موفقیت سدهای زیرزمینی هستند. در مقابل، محور ۶۵ در تمامی سناریوها کمترین شاخص تناسب را کسب کرد. محدودیت اصلی این محور شامل ضخامت کم آبرفت (>20 متر)، شیب نسبتاً زیاد ($<4\%$ درصد) و ظرفیت محدود ذخیره‌سازی بود. این شرایط باعث کاهش قابل توجه توان ذخیره و افزایش احتمال هدررفت جریان زیرسطحی شده است.



شکل ۸- مقایسه شاخص تناسب محورهای منتخب در پنج سناریو

جدول ۵- مقایسه ویژگی‌های فنی دو محور اول و آخر

شاخص	محور ۵۴	محور ۶۵
ضخامت آبرفت	بیش از ۶۰ متر	کمتر از ۲۵ متر
عمق سنگ‌بستر در محل محور	کم	زیاد
شیب مخزن	($<5\%$)	نسبتاً زیاد
ظرفیت ذخیره	زیاد	کم
خطر فرار آب	کم	متوسط تا زیاد
زمین‌شناسی	مناسب	نسبتاً نامناسب
تأثیر بر قنوات	ناچیز	بیشتر
رتبه نهایی	1	12

محور شماره ۵۴، علاوه بر برخورداری از ضخامت مناسب آبرفت (بیش از ۶۰ متر) که ظرفیت ذخیره قابل توجهی را فراهم می‌کند، دارای عمق نسبتاً کم سنگ‌بستر در محل اجرای پرده آب‌بند و شرایط مناسب هندسی محور بود. این ویژگی‌ها موجب کاهش حجم عملیات اجرایی، کاهش هزینه ساخت و افزایش کارایی سد زیرزمینی شده است. همچنین فاصله مناسب از قنوات و محدود بودن تأثیر بر منابع آب پایین‌دست، نقش مهمی در کسب بالاترین شاخص تناسب این محور داشته است (جدول ۵).

در مقابل، محور شماره ۶۵ اگرچه در برخی معیارها شرایط قابل قبولی داشت، اما به دلیل ضخامت کمتر آبرفت، شیب نسبتاً زیاد مخزن، ظرفیت ذخیره پایین‌تر و شرایط نامناسب‌تر هندسی محور، کمترین امتیاز را در تمامی سناریوها کسب کرد و در اولویت آخر قرار گرفت.

تحلیل حساسیت نشان داد که تغییر وزن معیارهای اقتصادی-اجتماعی تأثیر محدودی بر رتبه‌بندی نهایی دارد و تنها موجب جابه‌جایی جزئی در محورهای میانی می‌شود.

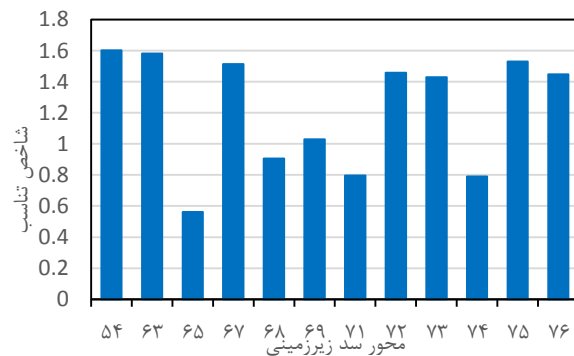
مطالعات تصمیم‌گیری چندمعیاره با محدودیت‌هایی همراه است. نخست آنکه وزن معیارها در روش AHP تا حدی به قضاوت خبرگان وابسته است و در صورت تغییر ترکیب متخصصان یا شرایط مدیریتی، ممکن است مقادیر وزن‌ها تغییر یابد؛ این موضوع یکی از محدودیت‌های شناخته‌شده روش AHP در مطالعات منابع آب محسوب می‌شود (Malczewski, 1999; Singh et al., 2026). به منظور کاهش این اثر، در پژوهش حاضر پنج سناریوی مستقل وزن‌دهی تعریف و پایداری نتایج در تمامی سناریوها ارزیابی شد.

از سوی دیگر، دقت نتایج به کیفیت، مقیاس و به‌روز بودن داده‌های ورودی وابسته است. نقشه‌های زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی و سایر لایه‌های اطلاعاتی هر یک دارای خطاهای ذاتی و محدودیت‌های مقیاس هستند که می‌توانند بر نتایج مکان‌یابی اثرگذار باشند. همچنین اطلاعات مربوط به ضخامت آبرفت و شرایط هیدروژئولوژیکی بر پایه داده‌های مطالعات منطقه‌ای، لاگ چاه‌ها و برداشت‌های میدانی موجود تهیه شده و در تمام محدوده مطالعاتی از داده‌های ژئوفیزیکی با تراکم یکسان استفاده نشده است؛ از این‌رو بخشی از عدم قطعیت مکانی اجتناب‌ناپذیر است (Sallwey et al., 2012; Al-Adamat, 2012).

علاوه بر این، روش AHP فرض می‌کند که معیارها تا حد زیادی مستقل از یکدیگر هستند؛ در حالی که در شرایط واقعی برخی معیارها مانند ضخامت آبرفت، شرایط هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی و ظرفیت ذخیره مخزن دارای همبستگی متقابل هستند. در این پژوهش، این وابستگی‌ها از طریق غربالگری اولیه و تعریف ساختار سلسله‌مراتبی معیارها تا حدی کنترل شد، اما استفاده از روش‌هایی مانند ANP، منطق فازی یا تحلیل حساسیت پیشرفته می‌تواند در پژوهش‌های آینده موجب افزایش دقت نتایج شود (Malczewski, 1999; Jha et al., 2024; Singh et al., 2026).

در نهایت، نتایج این پژوهش بیانگر اولویت نسبی محورهای پیشنهادی بر اساس داده‌ها و شرایط موجود است و پیش از اجرای هر پروژه، انجام مطالعات تفصیلی شامل عملیات ژئوتکنیکی، آزمایش‌های تراوایی، برداشت‌های ژئوفیزیکی با تفکیک‌پذیری بالا، تحلیل اقتصادی و ارزیابی‌های زیست‌محیطی برای هر یک از محورهای منتخب ضروری

این نتیجه بیانگر آن است که سیستم تصمیم‌گیری دارای پایداری ساختاری structural stability بالایی است. از نظر فضایی، توزیع محورهای مناسب نشان داد که تمرکز گزینه‌های برتر در بخش‌های میانی و غربی دشت شهرکرد بیشتر است؛ مناطقی که دارای رسوبات دانه‌درشت‌تر، ضخامت آبرفت بیشتر و شرایط مناسب‌تر جریان زیرسطحی هستند (شکل ۹).



شکل ۹- مقایسه مجموع شاخص‌های تناسب در محورهای مکان‌یابی شده

مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات مشابه نشان می‌دهد که الگوی مکانی شناسایی شده با روندهای جهانی توسعه سدهای زیرزمینی هم‌راستا است. به عنوان نمونه، Sallwey et al. (2019) در بررسی سیستم‌های ذخیره زیرسطحی تأکید کردند که نواحی با آبرفت ضخیم و شیب کم، بهترین عملکرد هیدروژئولوژیکی را دارند. همچنین Maghribi et al. (2022) نشان دادند که استفاده از GIS-AHP می‌تواند دقت مکان‌یابی را ۲۵ تا ۴۰ درصد نسبت به روش‌های کلاسیک افزایش دهد. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب GIS و AHP در قالب تحلیل سناریویی، ابزار بسیار مؤثری برای شناسایی و اولویت‌بندی محل‌های مناسب احداث سد زیرزمینی است. این روش علاوه بر کاهش عدم قطعیت تصمیم‌گیری، امکان ارزیابی اثر سیاست‌های مختلف مدیریتی را نیز فراهم می‌سازد و می‌تواند به عنوان یک ابزار کاربردی در مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده شود.

محدودیت‌های مطالعه

اگرچه استفاده هم‌زمان از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) چارچوبی مناسب برای اولویت‌بندی محورهای احداث سد زیرزمینی فراهم می‌کند، اما نتایج این پژوهش نیز همانند سایر

تقدیر و تشکر

نویسندگان از شرکت آب منطقه ای استان چهارمحال و بختیاری به خاطر در اختیار قرار دادن داده و اطلاعات و از دانشگاه شهرکرد که حامی مالی این تحقیق می‌باشد تشکر می‌نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تایید همه نویسندگان است

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نحوه مشارکت نویسندگان به صورت زیر است:
نویسنده اول: جمع‌آوری و تحلیل اولیه داده‌ها
نویسنده دوم: تحلیل داده‌ها، نوشتن و بازبینی مقاله
نویسنده سوم: تحلیل داده‌ها

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید همه آنها می‌باشد.

منابع

1. Aghababaei, M., Tabatabaei, S.H., Fatahi, R.A. and Emami, S.N., 2026. GIS-Based Identification of Suitable Underground Dam Axes in the Shahrekord Plain Watershed. *Iranian Water Research Journal*. Accepted for publication. <https://doi.org/10.22034/iwrj.2026.15089.2650> (In Persian)
2. Al-Adamat., 2012. The use of GIS and Google Earth for preliminary site selection of groundwater recharge in the Azraq Oasis Area, Jordan. *Journal of Water Resource and Protection*, 4(6), pp.395-399. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.46045>
3. Bilal, H., Govindan, R., Zekri, S., Al-Maktoumi, A., Rajabi, M. M., Triki, C. and Harrathi, W., 2025. Identification of potential managed aquifer recharge sites in hyper-arid environment using GIS and analytical hierarchy process. *Applied Water Science*, 15, 99. <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02431-3>

خواهد بود؛ موضوعی که در مطالعات اخیر مربوط به سدهای زیرزمینی نیز مورد تأکید قرار گرفته است (Bilal et al., 2025). یکی از محدودیت‌های پژوهش حاضر، استفاده از اطلاعات موجود زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی به جای برداشت مستقیم ژئوفیزیکی برای تعیین هندسه سنگ‌بستر است. هرچند این رویکرد برای مطالعات شناسایی و غربالگری اولیه در بسیاری از پژوهش‌های GIS-MCDA متداول است، اما برای طراحی نهایی سد زیرزمینی انجام مطالعات ژئوفیزیکی نظیر Electrical Resistivity Tomography (ERT) یا Seismic Refraction به منظور تعیین دقیق عمق سنگ‌بستر، ضخامت آبرفت و موقعیت لایه‌های نفوذناپذیر ضروری خواهد بود (Bilal et al., 2025; Sharma et al., 2026).

نتیجه‌گیری

بر اساس تحقیق انجام شده نتایج زیر به‌دست آمد:
در مرحله اول مکانیابی سدهای زیرزمینی انجام و ۱۲ موقعیت برای احداث سدهای زیرزمینی مناسب تشخیص داده شد. این ۱۲ محور بر اساس هشت معیار شناسایی مسیل‌ها و رودخانه‌های مستعد به‌عنوان محل احداث سد-زیرزمینی، وجود قسمت‌های باریک در آبراهه، شیب مخزن، کاربری اراضی، بررسی پدیده فرار آب، زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی، معیارهای اقتصادی و معیارهای اجتماعی انتخاب گردید. استفاده هم‌زمان از تکنیک‌های GIS، DSS و انجام بازدیدهای صحرایی به منظور کنترل صحت و دقت لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده دارای نقش موثرتری در کاهش هزینه و زمان به منظور مکان‌یابی نقاط مناسب احداث سد های زیرزمینی می‌باشد، به خصوص اگر منطقه مورد بررسی از وسعت قابل توجهی برخوردار باشد. کارایی و میزان دقت در تصمیم‌گیری با استفاده از مدل‌های DSS بستگی به دقت و فراگیری بانک داده‌ها دارد. کاربرد این تکنیک‌ها در مقاطع مکان‌یابی شده در حوضه آبخیز دشت شهرکرد نشان داد که محور ۵۴ اولویت نخست احداث سد زیرزمینی است. این نتیجه از عمق کم آبرفت در محل محور سد و تأثیر ناچیز بر منابع آبی پائین دست ناشی شده است. همچنین موقعیت ۶۵ به دلیل سطح کم و شیب نسبتاً تند مخزن، آخرین گزینه برای احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد خواهد بود.

- review of multi-criteria decision analysis studies, *Environmental Reviews*, 27(2), pp. 138–150. <https://doi.org/10.1139/er-2018-0069>
16. Sharma, M., Shieh, C. S., Jain, V., Horng, M. F. and Sharma, S., 2026. A GIS based hybrid AHP and ensemble machine learning framework for identifying groundwater recharge and flood mitigation hotspots. *Discover Computing*, 29, 244. <https://doi.org/10.1007/s10791-026-10124-x>
 17. Singh, K., Sharma, A., Sharma, A., Guota. R., Bhowmik, A., Senagah, A., Al-Ansari, N., Juneja, G., and Mattar, M., 2026. AHP integrated geospatial application for identifying groundwater recharge zones accounting for temporal variations through multi-criterion weighted overlay analysis. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-45064-5>
 18. Zaresefat, M., Ahrari, M., Shoaie, G.R., Etemadifar, M., Aghamolaie, I. and Derakhshani, R., 2022. Identification of suitable site-specific recharge areas using fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) technique: A case study of Iranshahr Basin (Iran). *Air, Soil and Water Research*, 15, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1177/11786221211063849>
 4. Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F. and Castelli, F., 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33(1–2), pp.74–85.
 5. Hamlat, A., Hamdi, K., Kissari, D.E., Bendjedid Kadri, C., Guidoum, A. and Sekkoum, M., 2024. GIS-based multi-criteria decision analysis for groundwater dam site selection in an arid and semi-arid region of Algeria. *Groundwater for Sustainable Development*, 26, 101231. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101231>
 6. Kharazi, P., Yazdani, M.R., and 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.
 7. Kharazi, P., Yazdani, M.R. and Khazealpour, P., 2021. Delineation of suitable sites for groundwater dams in the semi-arid environment in the northeast of Iran using GIS-based decision-making method. *Groundwater for Sustainable Development*, 14, 100657.
 8. Lalehzari, R. and Tabatabaei, S.H., 2010. Groundwater quality analysis in Shahrekord aquifer. *Journal of Environmental Studies*, 36(53), pp. 55–62. (In Persian).
 9. Lalehzari, R., Tabatabaei, S.H. and Yarali, N.A., 2009. Variation of nitrate contamination in Shahrekord aquifer and its mapping using GIS. *Iranian Water Research Journal*, 3(4), pp. 9–17. (In Persian)
 10. Maghribi, A.A., Dimyati, M. and Supriatna. (2022). *Geographic Information System and Multi-Criteria Decision Analysis for the Determination of Groundwater Recharge Potential: A Systematic Review*. *Water Supply*, 22(9), pp.7027–7039.
 11. Mahdavi, A., Tabatabaei, S.H., Nouri, M.R. and Mahdavi, R., 2012. Identification of groundwater artificial recharge sites using fuzzy logic: A case study of Shahrekord Plain, Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 6(2), pp. 1013–1027. (In Persian).
 12. Malczewski, J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons. p. 408
 13. Saaty, T.L., 1994. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh, PA: RWS Publications. p. 527
 14. Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), pp.83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>.
 15. Sallwey, J., Bonilla Valverde, J.P., Vásquez López, F., Junghanns, R. and Stefan, C., 2019. Suitability maps for managed aquifer recharge: A