

GIS-Based Identification of Suitable Underground Dam Axes in the Shahrekord Plain Watershed

Mitra Aghababei¹, Sayyed Hassan Tabatabaei^{2*}, Rohallah Fatahinafchi³ and Sayed Naeim Emami⁴

Extended Abstract

Introduction

In many parts of Iran, excessive groundwater extraction and insufficient recharge have caused significant decline in groundwater levels. The Shahrekord Plain watershed is among the regions experiencing groundwater depletion and negative water balance conditions. Managed Aquifer Recharge (MAR) is widely recognized as an effective approach for improving groundwater resources. Among MAR techniques, underground dams are particularly suitable for dry regions because they store water below the ground surface, reducing evaporation losses and enhancing groundwater availability. Unlike surface dams, underground dams intercept subsurface flow and increase groundwater storage within alluvial deposits upstream of the dam axis. These structures can improve water security, support agricultural production, and increase resilience to drought. The effectiveness of underground dams strongly depends on appropriate site selection. Hydrological, hydrogeological, geological, geomorphological, environmental, and socio-economic factors must all be considered during the planning process. Geographic Information Systems (GIS) have become valuable tools for integrating spatial datasets and supporting water-resource management decisions. GIS-based approaches enable the simultaneous evaluation of multiple criteria and facilitate the identification of suitable sites. Therefore, this study aimed to identify suitable underground dam axes within the Shahrekord Plain watershed using GIS-based spatial analysis as the first stage of a broader groundwater recharge planning framework.

Materials and Methods

This study was conducted in the Shahrekord Plain watershed, southwestern Iran, where increasing groundwater exploitation and recurrent droughts have intensified the need for sustainable groundwater management. A GIS-based spatial analysis framework was developed to identify suitable locations for underground dam construction. Spatial datasets, including digital elevation models (DEM), topographic maps, drainage networks, geological and hydrogeological maps, land-use data, and groundwater information, were integrated within the GIS environment. In the first stage, drainage channels were extracted and analyzed to identify narrow valley sections capable of intercepting subsurface flow with minimum construction cost. This process identified 51 potential underground dam axes. Subsequently, a series of exclusion criteria was applied to remove unsuitable locations. Areas with reservoir slopes greater than 5%, inappropriate land use (urban areas, exposed bedrock, and infrastructure), and unfavorable geological conditions were excluded. Geological investigations focused on identifying impermeable foundations and stable abutments while eliminating zones with fractured formations or high seepage potential. Environmental and socio-economic constraints were also incorporated by mapping qanat systems and defining protective buffer zones to avoid adverse impacts on existing groundwater resources. Finally, reservoir characteristics, including alluvial thickness, potential storage capacity, and groundwater recharge potential, were evaluated using borehole records and available geophysical data. The integration of these spatial criteria within a GIS framework provided a systematic and reproducible procedure for screening and selecting the most suitable underground dam locations in the study area.

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

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

4- Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Chaharmahal and Bakhtiari province, Agricultural Research and Education Organization, Shahrekord, Iran.

* Corresponding Author: Tabatabaei@sku.ac.ir

Received: 2025/06/15

Accepted: 2026/07/11

Results and Discussion

The GIS-based screening procedure effectively reduced the number of potential underground dam locations by integrating topographic, geological, hydrogeological, environmental, and socio-economic criteria. From the initial 51 candidate axes identified along drainage channels, only 12 sites satisfied all selection requirements. Topographic analysis excluded areas with reservoir slopes exceeding 5%, while land-use evaluation eliminated urban areas, exposed bedrock, and incompatible land-cover classes. Geological investigations further reduced the candidate sites by removing locations with fractured bedrock, unfavorable lithology, or high seepage potential. Hydrogeological evaluation showed that thicker alluvial deposits and higher groundwater storage capacity significantly improved site suitability by increasing recharge potential and subsurface water storage. Incorporating qanat protection buffers ensured that selected sites would not cause adverse affect on traditional groundwater-dependentsystems or downstream water users, thereby improving the environmental and social sustainability of the proposed framework. The final 12 locations exhibited favorable reservoir geometry, suitable impermeable foundations, adequate alluvial thickness, low leakage risk, and minimal conflicts with existing infrastructure. These findings demonstrate that GIS-based multi-criteria evaluation provides a reliable and reproducible approach for identifying suitable underground dam sites while substantially reducing the need for costly field investigations. The results also confirm that successful underground dam planning requires the simultaneous consideration of hydrogeological, geological, environmental, and socio-economic factors rather than relying solely on engineering criteria. Overall, the proposed methodology offers an effective decision-support framework for sustainable groundwater management in semi-arid regions.

Conclusion

This study applied a GIS-based spatial analysis framework to identify suitable underground dam axes within the Shahrekord Plain watershed. By integrating topographic, geological, hydrogeological, land-use, environmental, and socio-economic criteria, the methodology successfully reduced 51 preliminary candidate sites to 12 suitable locations. The results confirm that GIS is a reliable and efficient tool for underground dam site selection and can significantly improve decision-making in groundwater recharge projects. Geological suitability, leakage potential, reservoir slope, alluvial thickness, and protection of existing qanat systems were identified as the most important factors influencing site suitability. The selected sites provide promising opportunities for enhancing groundwater storage, increasing drought resilience, and supporting sustainable water-resource management in the Shahrekord Plain watershed. As the first phase of a broader research program, this study establishes a foundation for future investigations involving multi-criteria ranking, engineering feasibility analysis, economic evaluation, and detailed hydrogeological modeling of the selected underground dam sites.

Keywords: GIS, Managed Aquifer Recharge (MAR), Site Selection; Shahrekord Plain, Underground Dam.

Citation: Aghababei, M., Tabatabaei, S.H., Fatahinafchi, R., Emami, S.N., 2026. GIS-Based Identification of Suitable Underground Dam Axes in the Shahrekord Plain Watershed. *Iranian Water Research Journal*, 20(61), pp. 95-112.
<https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2026.15089.2650>

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/>).



تعیین محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد با استفاده از GIS

میترا آقابابایی^۱، سید حسن طباطبائی^{۲*}، روح الله فتاحی^۳ و سید نعیم امامی^۴

چکیده

کاهش آبهای زیرزمینی در اکثر مناطق ایران به یکی از معضلات مهم کشور تبدیل شده است. یکی از مهم‌ترین راهکارهای مطرح‌شده در این زمینه، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها و احداث سدهای زیرزمینی به‌منظور ذخیره و کنترل آب‌های زیرسطحی می‌باشد. در این راستا، فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور به‌عنوان ابزارهای مؤثر در مکان‌یابی مناسب برای اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و سدهای زیرزمینی شناخته شده‌اند. هدف این پژوهش تعیین موقعیت مناسب سدهای زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد است. هشت پارامتر مؤثر در مکان‌یابی شامل مسیل‌ها و رودخانه‌های مستعد به‌عنوان محل احداث سد زیرزمینی، وجود قسمت‌های باریک در آبراهه، شیب مخزن، کاربری اراضی، بررسی پدیده فرار آب، زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و معیارهای اقتصادی-اجتماعی انتخاب گردید. در این راستا انطباق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از GIS انجام و ۱۲ محور سد با موقعیت مناسب برای احداث سد زیرزمینی استخراج شد. نتایج نشان داد که مکان‌های انتخاب‌شده عمدتاً دارای آبرفت کم‌عمق در محور سد و کمترین تأثیر منفی بر منابع آب پایین‌دست هستند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که GIS می‌تواند ابزاری مؤثر در مدیریت پایدار منابع آب و افزایش دقت مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق نیمه‌خشک باشد. اولویت‌بندی نهایی محورهای استخراج‌شده در مرحله بعدی پژوهش با بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام می‌شود.

کلیدواژه‌ها: سد زیرزمینی، GIS، تغذیه مصنوعی، انتخاب سایت، دشت شهرکرد

ارجاع: آقابابایی، م.، طباطبائی، س.ح.، فتاحی، ر.ا.، امامی، س.ن.، ۱۴۰۵. تعیین محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد با استفاده از GIS. مجله پژوهش آب ایران، ۲۰(۶۱)، صص. ۹۵-۱۱۲. <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2026.15089.2650>

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

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

۴- بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

* نویسنده مسئول: Tabatabaei@sku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۵

مقدمه:

در دهه‌های اخیر، کاهش منابع آب زیرزمینی و افزایش برداشت بی‌رویه از سفره‌های آبخوان، ضرورت استفاده از روش‌های مدیریت پایدار منابع آب را دوچندان کرده است. یکی از مهم‌ترین روش‌های حفاظت و تقویت منابع آب زیرزمینی، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها یا Managed Aquifer Recharge (MAR) است. سدهای زیرزمینی به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر MAR در مناطق خشک شناخته می‌شوند که می‌توانند با کاهش تبخیر، افزایش ذخیره‌سازی آب زیرسطحی و کنترل جریان‌های زیرزمینی، نقش مهمی در پایداری منابع آب ایفا کنند. با این حال، انتخاب مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی فرآیندی پیچیده بوده و نیازمند بررسی هم‌زمان عوامل هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، اقتصادی و اجتماعی است. مطالعات متعددی بر اهمیت مدل‌سازی آب زیرزمینی مکانی (Hydrogeospatial Modeling) در شناسایی مناطق مناسب تغذیه آبخوان و مکان‌یابی سدهای زیرزمینی تأکید کرده‌اند. در این نوع مدل‌سازی، لایه‌های اطلاعاتی شامل شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم زهکشی، ضخامت آبرفت، لیتولوژی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی در محیط GIS تلفیق و تحلیل می‌شوند.

در سال‌های اخیر، استفاده از GIS و مدل‌های مکانی در مطالعات تغذیه مصنوعی آبخوان توسعه قابل توجهی یافته است. Singh et al. (2023) با استفاده از GIS، سنجش از دور و مدل‌های هیدروژئولوژیکی، مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان را در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناسایی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تلفیق داده‌های مکانی و هیدرولوژیکی، دقت مکان‌یابی پروژه‌های آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد. Amini et al. (2026) با استفاده از مدل Best-Worst Method (BWM) و GIS، پتانسیل تغذیه مصنوعی آبخوان را در حوضه مرزی رودخانه هریرود ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری نوین با GIS می‌تواند به شناسایی دقیق‌تر مناطق مناسب تغذیه مصنوعی و مدیریت پایدار منابع آب کمک کند. Sitek et al. (2026) از روش GIS-MCDA برای تهیه نقشه تناسب تغذیه مصنوعی آبخوان در لهستان استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که معیارهایی مانند نفوذپذیری خاک، شیب، کاربری اراضی و فاصله از منابع آب در تعیین مناطق مناسب تغذیه مصنوعی نقش اساسی دارند و GIS ابزار مؤثری برای تحلیل این معیارها محسوب می‌شود.

در پژوهشی Forzieri et al. (2007) روشی برای پیش‌انتخاب محل‌های مناسب به‌منظور احداث سدهای سطحی و زیرزمینی (Subsurface Dam, SD) در مناطق خشک کشور مالی ارائه کردند. پارامترهایی نظیر شیب، شبکه زهکشی، زمین‌شناسی و ضخامت آبرفت در محیط GIS تلفیق شد و نتایج نشان داد که تحلیل‌های مکانی می‌توانند هزینه و زمان مطالعات میدانی را کاهش دهند. Nthokwa et al. (2025) با ارزیابی زیرحوضه‌های مناسب برای احداث سدهای شنی و آبخوان‌های مصنوعی، نشان دادند که سازه‌های ذخیره آب زیرسطحی می‌توانند نقش مؤثری در توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفا کنند. نتایج این تحقیق اهمیت تحلیل‌های مکانی و داده‌های ژئومورفولوژیکی را در انتخاب محل مناسب سازه‌های ذخیره آب زیرزمینی تأیید کرد. Rajabi et al. (2025) در یک مطالعه مروری جامع، روند تحقیقات مرتبط با مکان‌یابی سدهای زیرزمینی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که معیارهایی مانند زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت، شیب زمین، ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و شرایط هیدرولوژیکی مهم‌ترین عوامل در تعیین محورهای مناسب احداث سدهای زیرزمینی هستند. همچنین این مطالعه بر نقش روزافزون GIS و تحلیل‌های مکانی در افزایش دقت مکان‌یابی تأکید نمود.

در مطالعات انجام‌شده در دشت شهرکرد، CHB Regional Water Company (2009) در گزارش تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی شهرکرد، به روند افت سطح آب زیرزمینی و افزایش برداشت از منابع آبخوان اشاره کرده و بر لزوم اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی تأکید نموده است. Mahdavi et al. (2010) با استفاده از منطق بولین و فازی در محیط GIS، عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی را در حوضه آبخیز دشت شهرکرد تعیین نمود. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل فازی نسبت به روش بولین، توانایی بیشتری در مدیریت عدم قطعیت داده‌های محیطی و تحلیل مکانی دارد. لذا لازم است تمهیدات مدیریتی برای توسعه منابع آبهای زیرزمینی به‌خصوص تغذیه مصنوعی و احداث سد زیرزمینی در این دشت اجرا گردد. انتخاب محل مناسب احداث سدهای زیرزمینی یک مسئله چندمعیاره است و هم‌زمان تحت تأثیر عوامل هیدروژئولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی و ملاحظات اقتصادی-اجتماعی قرار دارد (Al-Adamat et al., 2021). از این‌رو، در پژوهش حاضر ابتدا معیارهای محدودکننده به‌منظور حذف مناطق نامناسب در

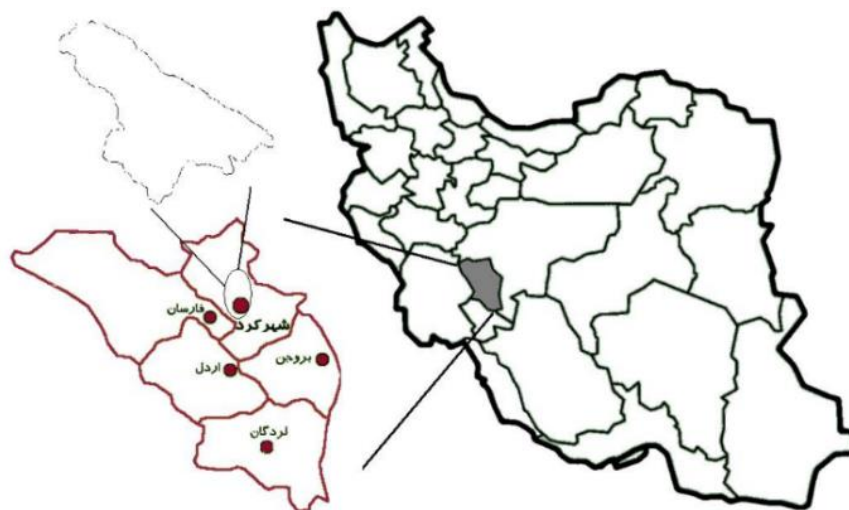
محدوده مطالعاتی حوضه آبخیز دشت شهرکرد، ملاحظه می-شود. این حوضه خود جزئی از حوضه آبخیز کارون می-باشد. وسعت این محدوده مطالعاتی، ۱۲۳۵ کیلومترمربع بوده، که ۵۵۱ کیلومتر مربع آن را آبرفت و دشت و بقیه را کوهستان‌ها تشکیل می-دهد (شکل ۲). این دشت، از شمال و شمال غربی به ارتفاعات کلاه قاضی، قراولخانه، چهل دختران و از نواحی جنوب به ارتفاعات جهانبین و تفه و از شرق به ارتفاعات کوه سینه و برات و از غرب به ارتفاعات کوه قلنگان و ارتفاعات مشرف به جاده فارسان منتهی می-گردد. رودخانه اصلی آن رود جهانبین است، که پس از دریافت آب مازاد چشمه‌ها و قنات در نواحی جنوبی به رودخانه کیار متصل می-شود (Lalehzari and Tabatabaei, 2010). در شکل ۳، شهرهای شهرکرد، فرخ‌شهر، کیان، هفشجان و چالستر و هم چنین روستاها و جاده‌های اصلی موجود در منطقه، نشان داده شده است (CHB Regional Water Company, 2009). محدوده مطالعاتی دارای میانگین درجه حرارت سالانه ۱۲/۰۲ درجه سانتیگراد می-باشد، که میانگین آن در مناطق کوهستانی ۷/۲ و در دشت‌ها ۱۳/۵ درجه سانتیگراد گزارش شده است. هم چنین ارتفاع متوسط بارندگی سالانه در کل حوضه آبخیز، ۴۰۰ میلی متر است. شکل ۴ خطوط هم‌باران منطقه را نشان می-دهد.

محیط GIS اعمال شد و سپس در مقاله بعدی گزینه‌های باقی‌مانده با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره رتبه‌بندی شدند. نوآوری این پژوهش در ارائه یک چارچوب یکپارچه برای مکان‌یابی و اولویت‌بندی سدهای زیرزمینی است. برخلاف اغلب مطالعات پیشین که از یک مجموعه وزن ثابت برای معیارها استفاده کرده‌اند، در این پژوهش پنج سناریوی مستقل وزن‌دهی تعریف و اثر تغییر اهمیت معیارهای اصلی بر رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها تحلیل شد. همچنین برای نخستین بار در حوضه آبریز دشت شهرکرد، هشت معیار مؤثر شامل عوامل هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی به‌صورت هم‌زمان در قالب یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تلفیق و چارچوبی قابل تعمیم برای سایر حوضه‌های آبریز ارائه گردید.

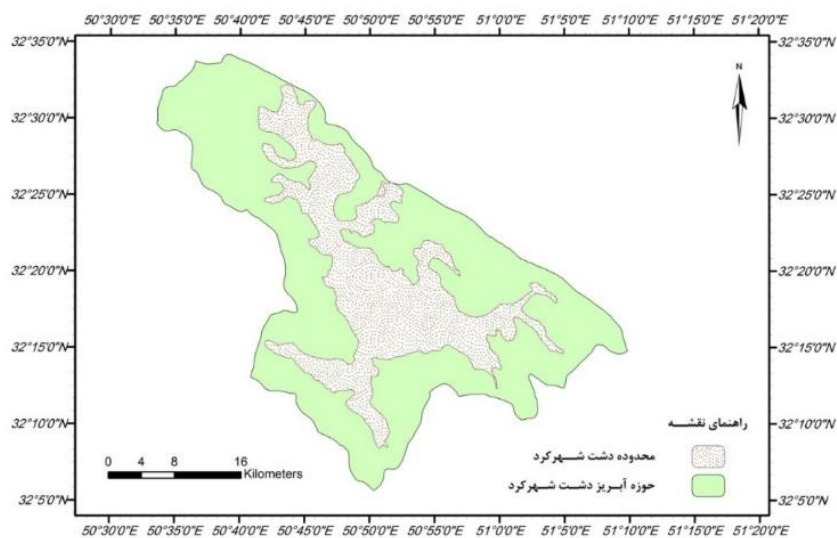
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

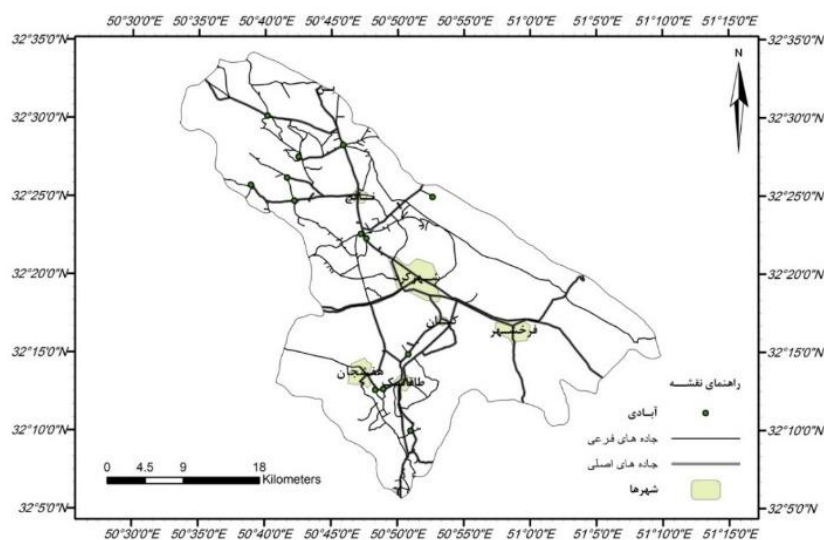
محدوده مورد نظر در این پژوهش، حوضه آبخیز دشت شهرکرد، واقع در استان چهارمحال و بختیاری است. در شکل ۱ موقعیت استان چهارمحال و بختیاری در ایران و موقعیت



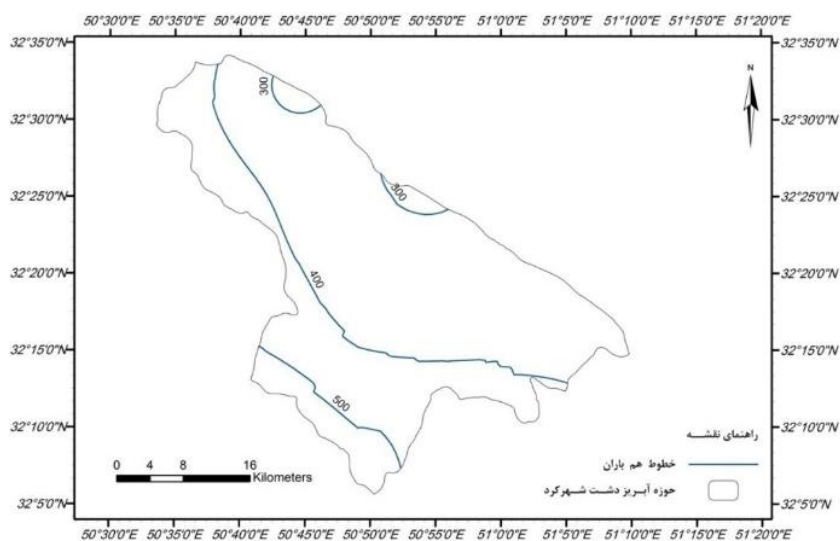
شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز دشت شهرکرد در استان و ایران



شکل ۲- موقعیت آبخوان شهرکرد در حوزه آبخیز



شکل ۳- موقعیت شهرها، روستاها و جاده‌های در حوزه



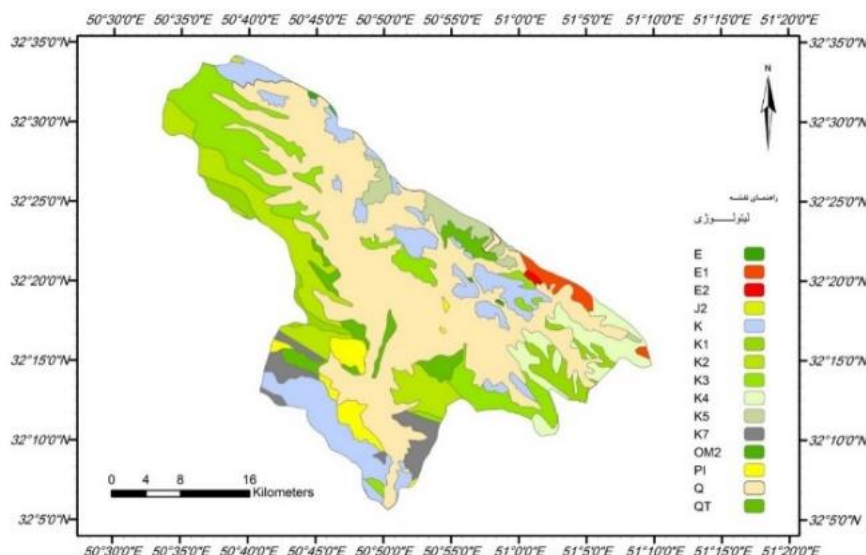
شکل ۴- نقشه خطوط هم‌باران حوزه

ویژگی‌های ژئوهیدرولوژی آبخوان

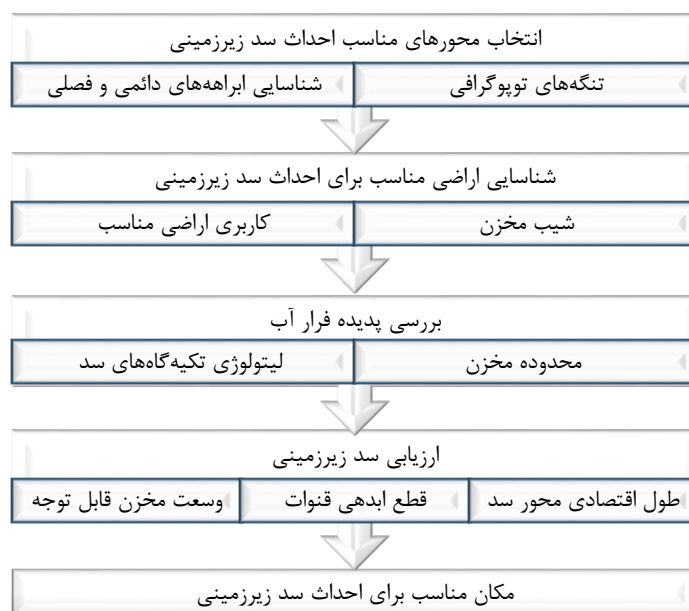
برای بررسی وضعیت ارتباط سازنده زمین شناسی همجوار با آبخوان آبرفتی همچنین تغییرات رقوم سنگ کف در مناطق مختلف و تاثیر سازندهای منطقه بر جنس آبخوان، ساختارها و سازندهای موجود در منطقه با دیدگاه هیدروژئولوژیکی بررسی شد

(CHB Regional Water company, 2009). نقشه

زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه بر اساس لیتولوژی و نوع و سن سازند زمین‌شناسی در شکل ۵ ارائه شده است. برای انجام پژوهش مراحل مختلفی انجام شد. شکل ۶ روندنما و گام‌های انتخاب مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نقشه زمین شناسی حوضه



شکل ۶- مراحل انتخاب مکان مناسب احداث سد زیرزمینی

معیارها و نحوه اعمال آنها در GIS

در این پژوهش، هشت معیار شامل شناسایی ابراهه‌های مستعد، وجود تنگه مناسب، شیب مخزن، کاربری اراضی، فرار آب، زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و معیارهای اقتصادی-اجتماعی به عنوان معیارهای اصلی مکان‌یابی انتخاب شدند. به منظور تبیین

مبنای علمی انتخاب هر یک از معیارها، نوع کاربرد آنها در فرآیند مکان‌یابی و نقش آنها در حذف یا پذیرش گزینه‌ها، اطلاعات جدول ۱ ارائه شده است. کلیه داده‌های مکانی در محیط ArcGIS به صورت لایه‌های رستری استاندارد تهیه شدند. در مرحله نخست، هر یک از معیارهای مکان‌یابی شامل

مکان‌یابی محل احداث سدهای زیرزمینی

شاخص‌های تعیین محور مناسب برای احداث سد زیرزمینی در این پژوهش عبارتند از الف- وجود قسمت‌های باریک در آبراهه و ب- شناسایی مسیل‌ها و رودخانه‌های مستعد به‌عنوان محل احداث سد زیرزمینی (به عبارت دیگر باید تغذیه کافی از حوضه آبخیز وجود داشته باشد). در گام الف، تنگه‌های موجود در بستر آبراهه‌ها که دارای حجم قابل ملاحظه‌ای از آبرفت در قسمت‌های بالادست می‌باشند از نقاط مناسب احداث سدهای زیرزمینی محسوب می‌شوند. در این حالت هزینه‌های اجرای پروژه کاهش می‌یابد و در زمان نیز صرفه جویی می‌شود. در این گام برای استخراج تنگه‌های مناسب به منظور احداث محور سد زیرزمینی، نقشه‌های رقومی ۱/۲۵۰۰۰ توپوگرافی منطقه -تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری- فراهم و سپس مقاطع احتمالی سد به نقشه توپوگرافی اضافه گردید.

در گام ب، شناسایی اراضی مناسب و محدوده‌های پتانسیل‌دار برای احداث سد زیرزمینی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی، دانش موجود در این زمینه و همچنین نظرات کارشناسی انجام شد. این مناطق پتانسیل‌دار شامل بستر آبرفتی رودخانه-هایی است که دارای شیب حداکثر ۵ تا ۶ درصد می‌باشند. همچنین این بسترهای آبرفتی نباید بر ساختارهای خطی مانند قنوات منطبق باشند. معیارهای تصمیم‌گیری (Decision Criteria) این مرحله که معیارهای حذفی (Exclusionary Criteria) نامیده می‌شوند، شامل آن دسته از معیارهایی هستند که نبود آنها شرط لازم و ضروری برای انتخاب یک محدوده به-عنوان محدوده مناسب احداث سد زیرزمینی است (Salami, 2006). این معیارها عبارتند از:

الف- شیب اراضی

شیب به‌عنوان یکی از فاکتورهای موثر در تعیین نقاط مناسب احداث سد زیرزمینی مطرح است. در ارتباط با پروژه‌های سد زیرزمینی، شیب‌های کمتر از ۵٪ را به دلیل سرعت کم جریان آب و تشکیل مخازن مناسب زیرسطحی مناسب می‌دانند. در شکل ۷، نقشه شیب اراضی ارائه شده است. آستانه‌های مورد استفاده در این پژوهش بر اساس ترکیبی از مطالعات پیشین، اصول طراحی هیدروژئولوژیکی سدهای زیرزمینی و بازدیدهای میدانی تعیین شدند. به‌طور مشخص، شیب کمتر از ۵ درصد به دلیل فراهم کردن شرایط مناسب برای افزایش حجم ذخیره آب زیرزمینی، کاهش سرعت جریان زیرسطحی و بهبود عملکرد مخزن انتخاب شد (Nilsson, 1988; Hamlat et al., 2023). Sallwey et al., 2019

شیب، عرض آبراهه، زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، پدیده فرار آب، وضعیت آبراهه و معیارهای اقتصادی-اجتماعی بر اساس طبقه‌بندی شدند؛ به گونه‌ای که مناطق مناسب مقدار یک و مناطق نامناسب مقدار صفر دریافت کردند. سپس به منظور اعمال هم‌زمان تمامی محدودیت‌ها، از عملگر منطقی AND در ابزار Raster Calculator استفاده شد و تنها مناطقی که در تمام معیارها شرایط مناسب داشتند، به عنوان گزینه‌های بالقوه احداث سد زیرزمینی انتخاب شدند. این فرآیند در واقع معادل همپوشانی محدودیتی (Constraint Overlay) در محیط GIS است.

جدول ۱- معیارهای هشت‌گانه مکان‌یابی و مبنای علمی انتخاب هر معیار

معیار	مبنای علمی	نوع معیار
شیب	کنترل حجم مخزن و پایداری هیدرولیکی	حذفی
عرض آبراهه	امکان اجرای سازه	حذفی
زمین‌شناسی	کنترل تراوش	حذفی
سنگ‌شناسی	کنترل نفوذپذیری	حذفی
فرار آب	جلوگیری از نشت	حذفی
کاربری اراضی	محدودیت‌های اجرایی و محیط‌زیستی	حذفی
وضعیت رودخانه	امکان ذخیره جریان زیرسطحی	حذفی
اقتصادی-اجتماعی	قابلیت بهره‌برداری	حذفی

حدود آستانه هر معیار که مبنای حذف یا پذیرش گزینه‌ها در مرحله نخست مکان‌یابی بوده است، در جدول ۲ ارائه شده است. پس از تعیین محورهای مناسب، فرآیند اولویت‌بندی در مرحله دوم آغاز شد. در این مرحله، معیارهای اصلی و فرعی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) وزن‌دهی شدند. جزئیات این مطلب در مقاله دوم آمده است.

جدول ۲- آستانه‌های پذیرش و حذف در مرحله مکان‌یابی

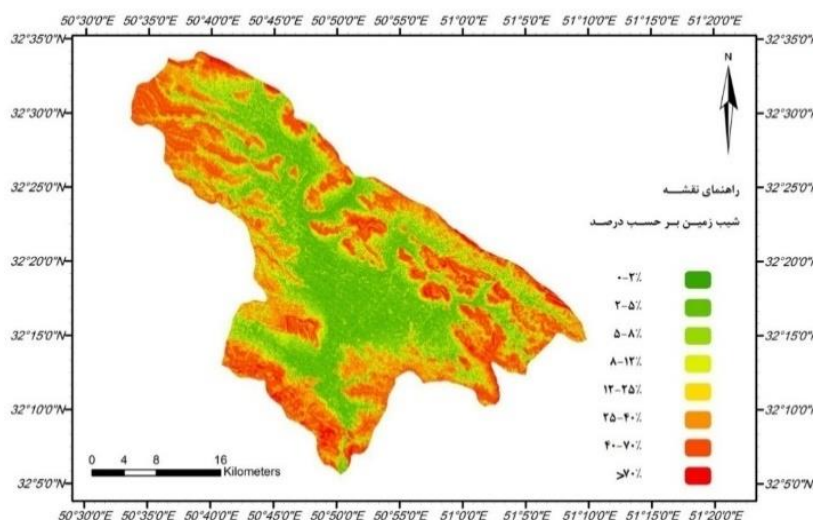
معیار	شرط پذیرش	شرط حذف	مرجع
شیب	کمتر از ۵٪	بیشتر از ۵٪	Salami (2006); Sallwey et al. (2019)
عرض محور	کمتر از ۲ km	بیشتر از ۲ km	Talebi et al. (2023)
فاصله از قنوات	بیش از ۵۰ m	کمتر از ۵۰ m	Hamlat et al. (2023)

ب- کاربری اراضی

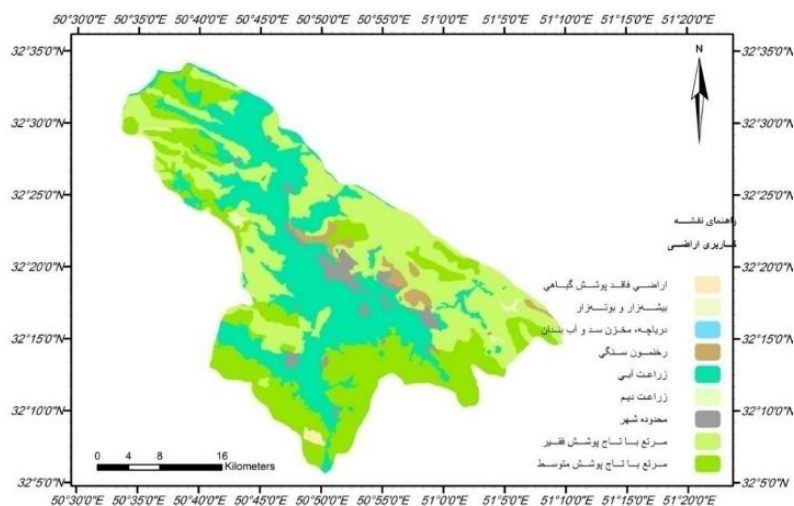
در نقشه کاربری اراضی انواع کلاس‌های موجود شامل مناطق شهری، رخنمون‌های سنگی، دریاچه‌ها، مخازن آب، آب‌بندها، مزارع آبی و دیم، مراتع، بیشه‌زارها، بوته‌زارها و مناطق فاقد پوشش گیاهی مشخص شده است (شکل ۸). در این مرحله مناطقی که دارای کاربری نامناسب می‌باشند از محدوده احداث مخازن سد های زیرزمینی حذف شدند. این مناطق شامل محدوده‌های شهری، رخنمون‌های سنگی، دریاچه‌ها، مخازن و آب‌بندها هستند. در ادامه پس از استخراج تمامی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در این مرحله از تصمیم‌گیری، هر کدام از لایه‌ها به برنامه ArcGIS 9/3 وارد و با یکدیگر تلفیق شده و در نهایت محدوده‌های مطلوب برای انتخاب محورهای مناسب در مرحله بعد مشخص شد.

ج- پدیده فرار آب

با توجه به تأثیر ساختارها و سازندهای زمین‌شناسی بر وضعیت کمی و کیفی آبخوان و آب‌های زیرزمینی، در این بخش برای بررسی وضعیت ارتباط سازند زمین‌شناسی همجوار با آبخوان آبرفتی همچنین تغییرات رقوم سنگ کف و تأثیر سازندهای منطقه بر جنس آبخوان، ساختارها و سازندهای موجود در منطقه با دیدگاه هیدروژئولوژیکی بررسی شدند. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی مرتفع موجود در کرانه‌های رودخانه از جمله مناطقی هستند که به دلیل نشت آب از تکیه‌گاه‌ها، نمی‌توان دیواره سد را روی آنها بنا نهاد. به-طور کلی سنگ کف و دیواره‌های مخزن سد باید به گونه‌ای باشند که آب‌گذری نداشته باشند.



شکل ۷- نقشه شیب اراضی حوضه آبخیز دشت شهرکرد



شکل ۸- نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز دشت شهرکرد

ارزیابی سد زیرزمینی

در این مرحله محورهای باقیمانده از سه جهت ارزیابی شدند. محور مورد نظر در هر محدوده از نظر داشتن کمترین عرض به دلیل حجم کار سازه‌ای کم، حجم مخزن مناسب و وجود منابع آبی حساس در این محدوده‌ها، بررسی شد.

قنوات از جمله مهمترین منابع تأمین آب در مناطق کوهپایه‌ای هستند که برای ساکنین موجود در آن مناطق اهمیت شایانی دارند و تخریب این منابع آبی با ارزش به هر دلیلی با چالش‌های محلی شدیدی همراه خواهد بود. لذا هیچ قناتی نباید به واسطه احداث سد زیرزمینی در معرض تخریب یا کاهش شدید دبی قرار گیرد. در این مرحله از پتانسیل یابی، مناطقی که در آنها محور سد زیرزمینی و کوره قنات تلاقی دارند جزء مناطق نامناسب احداث سد زیرزمینی در نظر گرفته شدند. احداث سد زیرزمینی در برخی مناطق برای قنواتی که در بالا دست محور سد قرار دارند یک امتیاز مثبت نیز محسوب می‌شود، چراکه احداث سد باعث بالا آمدن سطح ایستابی سفره‌های آبی موجود در منطقه و در نتیجه افزایش طول بخش تره‌کار قنات و آبدهی بیشتر این قنوات می‌گردد. همچنین ضروری است که تمهیدات لازم برای قنوات پائین-دست سد که ممکن است با کاهش دبی همراه باشند، در نظر گرفته شود. این تمهیدات می‌تواند شامل در نظر گرفتن مقداری از ذخیره آبی انباشته شده در مخزن سد زیرزمینی برای جبران کمبود نیاز آبی حقابه‌بران قنات پائین‌دست یا تعبیه دریچه‌های آبگیر در بدنه سد زیرزمینی (مشابه با سدهای سطحی) باشد. پراکندگی قنوات در منطقه مورد بررسی از اطلاعات تهیه شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری استفاده گردید. با این فرض که محور سد زیرزمینی نباید کوره قنات را قطع کند در نرم افزار ArcGIS بافر با فاصله ۵۰ متری از محور قنوات تعریف گردید. مناطق درون این بافر جزء مناطق نامناسب برای احداث سدهای زیرزمینی قرار دارند. در شکل ۹، نقشه پراکندگی قنات‌ها در حوضه آبخیز شهرکرد ارائه شده است.

حجم مخزن سد زیرزمینی

از آنجا که برآورد مستقیم حجم مخزن در مرحله مکان‌یابی امکان‌پذیر نبود، حجم مخزن به صورت غیرمستقیم و با استفاده از شاخص‌های مؤثر بر آن ارزیابی شد. ارتباط هر یک از این شاخص‌ها با حجم بالقوه مخزن در جدول ۳، ارائه شده است.

جدول ۳- ارتباط شاخص‌های مخزن با حجم مخزن سد زیرزمینی

شاخص	رابطه با حجم مخزن
ضخامت آبرفت	مستقیم
وسعت مخزن	مستقیم
شیب سنگ کف	معکوس
آبدهی ویژه	مستقیم
قابلیت تغذیه مصنوعی	مستقیم

عمق مخزن

به دلیل تشکیل مخزن سد زیرزمینی در زیر زمین و در بین خلل و فرج رسوبات آبرفتی، مخازن مناسب معمولاً در رودخانه-هایی تشکیل می‌شوند که بستر آبرفتی از نفوذپذیری و عمق مناسب برخوردار باشد. آبخوان‌های تشکیل شده در بستر رودخانه و دشت‌های میان کوهی اگرچه معمولاً از تخلخل و نفوذپذیری بالایی برخوردارند ولی به دلیل ضخامت کم از ذخیره بالایی برخوردار نمی‌باشند و سطح ایستابی آنها در فصول خشک و تر دارای نوسانات زیادی می‌باشد. شناسایی عمق سنگ بستر نیازمند کاوش‌های ژئوفیزیکی است. در این مرحله از مطالعات از داده‌های موجود ژئوفیزیکی آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. این اطلاعات شامل ضخامت آبرفت در ۲۰۳ لوگ حفاری شده در منطقه است که میان آنها درون‌یابی انجام شد. سپس منحنی تیسن برای هم ضخامت‌های آبرفت ترسیم و میانگین عمق هر مخزن محاسبه شد. بر اساس نتایج بررسی‌های ژئوفیزیک، آبخوان دشت شهرکرد در حالت کلی از نوع آزاد تشخیص داده شد. برای تهیه نقشه تغییرات ضخامت آبخوان از داده‌ها و پروفیل‌های ژئوفیزیک موجود در منطقه استفاده و این نقشه ترسیم شد (شکل ۱۰).

سطح مخزن

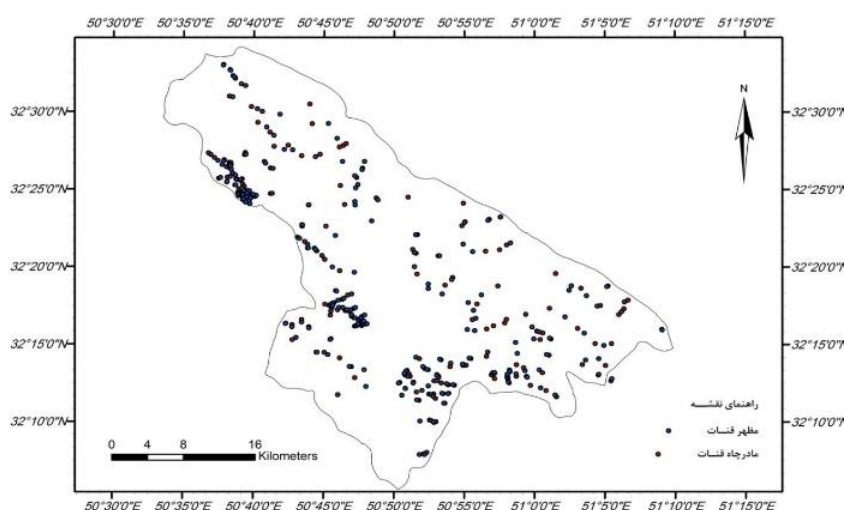
سطح مخزن از عوامل تأثیرگذار روی حجم مخازن سدهای زیرزمینی است. برخلاف سدهای سطحی که بزرگ بودن سطح مخزن به دلیل تلفات ناشی از تبخیر، عیب محسوب می‌شود، در سدهای زیرزمینی و بدون در نظر گرفتن سایر فاکتورهای مؤثر در انتخاب مکان مناسب برای احداث سد، بهترین موقعیت در یک رودخانه، تنگه‌هایی هستند که بیشترین سطح مخزن را در مناطق بالادست جریان دارند. برای ترسیم نقشه تغییرات توپوگرافی سنگ کف منطقه، از تمامی داده‌های مربوط به پروفیل‌های ژئوفیزیک منطقه استفاده شد. با توجه به اینکه در مطالعات آب‌های زیرزمینی مفهوم سنگ کف آبخوان الزاماً برخورد به سازند سنگی نمی‌باشد، لذا در برخی موارد لایه‌های رسی که

به نحوی که اگر نفوذپذیری پایین باشد، در شیب‌های کم، آب روی سطح زمین باقی مانده و تبخیر آن باعث افزایش املاح خاک می‌شود. با توجه به توضیحات فوق، می‌توان مقدار این پارامتر را بر اساس بافت خاک تعیین کرد. با داشتن بافت خاک در محل مخزن و با توجه به جدول پیشنهادی فائو، محدوده مقادیر نفوذپذیری برای هر بافت خاک تعیین شد. با توجه به نقشه بافت خاک منطقه، بافت‌های Loam.Silt، Silty Loam، Clay Loam و Clay.Sandy Loam در منطقه تحت مطالعه، دیده می‌شود. نقشه بافت خاک در حوضه آبخیز دشت شهرکرد، در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

دارای هدایت هیدرولیکی بسیار پائینی بودند به عنوان سنگ کف در مطالعات هیدروژئولوژی لحاظ شدند و نقشه تغییرات توپوگرافی سنگ کف آبخوان دشت شهرکرد ترسیم شد (شکل ۱۱). به منظور تعیین سطح مخزن از منحنی‌های توپوگرافی سنگ بستر استفاده و رقوم تاج سد زیرزمینی به عنوان رقوم استخراج سطح مخزن در نظر گرفته شد.

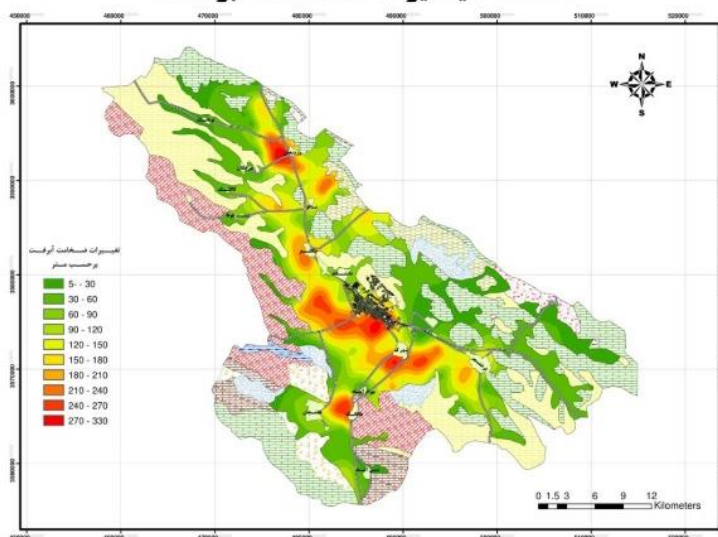
نفوذپذیری سطحی

یکی از عوامل مهم در تغذیه آبهای زیرزمینی، نفوذپذیری سطحی خاک است. میزان نفوذپذیری به عواملی نظیر خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و شیب زمین وابسته است. تاثیر این عامل در کاهش تبخیر و تعرق نمایان می‌شود،

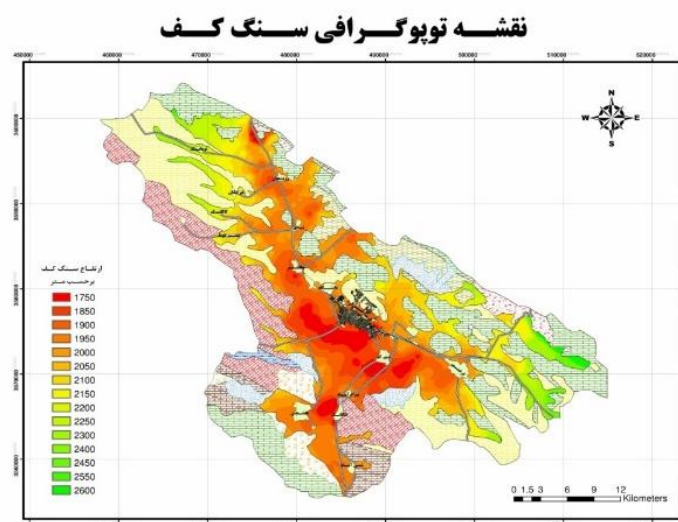


شکل ۹- نقشه پراکندگی قنات‌ها در حوضه

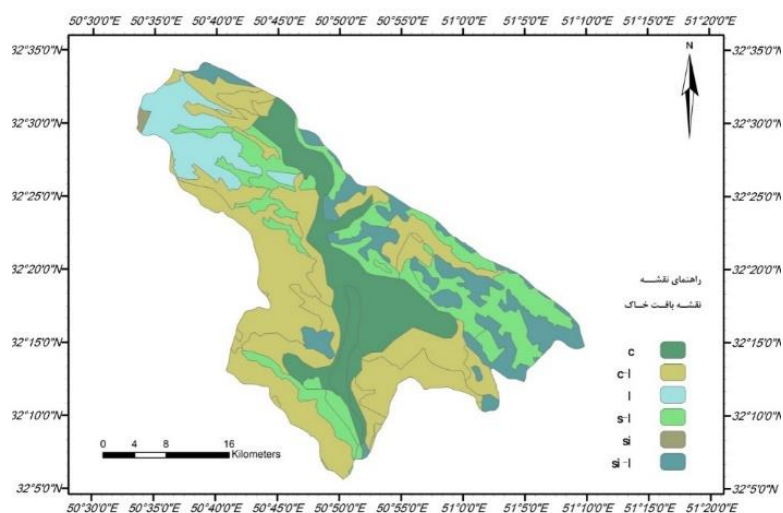
نقشه تغییرات ضخامت آبرفت



شکل ۱۰- نقشه ضخامت آبرفت



شکل ۱۱- نقشه تغییرات توپوگرافی سنگ کف دشت



شکل ۱۲- نقشه بافت خاک در حوضه

نتایج و بحث

چندمعیاره (MADM) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، محاسبه گردید. که در مقاله دوم شرح داده شده است.

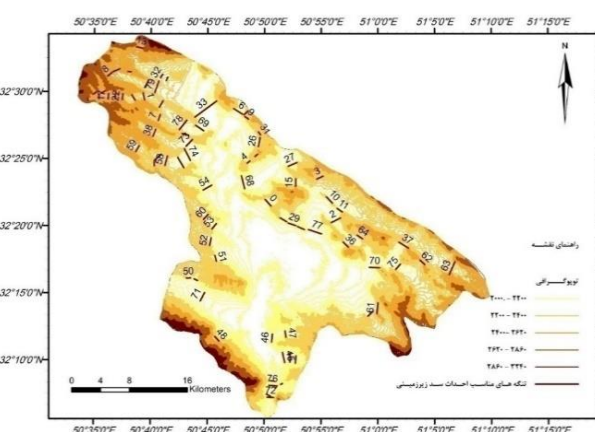
انتخاب محورهای مناسب

در این پژوهش، شاخص‌های تعیین محور مناسب برای احداث سد زیرزمینی شامل: شناسایی مسیل‌ها و رودخانه‌های مستعد به‌عنوان محل احداث، و وجود مقاطع کم عرض در آبراهه، در نظر گرفته شد. در این مرحله برای استخراج تنگه‌های مناسب احداث محور سد زیرزمینی، نقشه‌های رقومی توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه (شکل ۱۳) و سپس مقاطع احتمالی سد به نقشه توپوگرافی اضافه شد (شکل ۱۴). بر اساس شکل ۱۴، تعداد ۵۱ محور سد در گام ابتدایی شناسایی و به مرحله بعد معرفی شد.

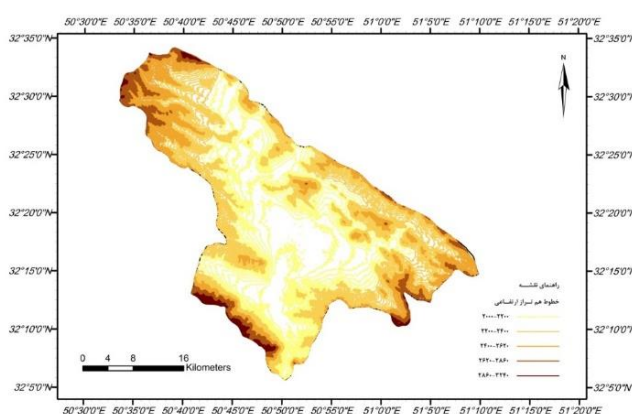
هشت معیار مورد استفاده در مرحله مکان‌یابی، معیارهای حذفی (Screening Criteria) بودند که با هدف حذف مناطق فاقد شرایط اولیه احداث سد زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفتند این معیارها عبارتند از شیب، عرض آبراهه، زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، فرار آب، کاربری اراضی، وضعیت رودخانه و اقتصادی-اجتماعی. در این مرحله هیچ‌گونه وزن‌دهی بین معیارها انجام نشد و تمامی معیارها به‌صورت محدودیت‌های مکانی در محیط GIS و با استفاده از همپوشانی منطقی (Boolean Overlay) اعمال شدند. پس از استخراج محورهای مستعد، فرآیند تصمیم‌گیری وارد مرحله دوم شد که در آن با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری

عرصه‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی

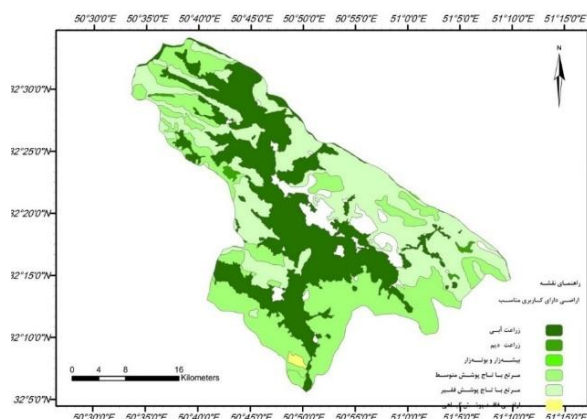
شناسایی محدوده‌های پتانسیل‌دار براب احداث سد- زیرزمینی با در نظر گرفتن معیارهای حذفی شیب، کاربری اراضی و نهایتاً بررسی پدیده فرار آب انجام شد. لایه اطلاعاتی شیب‌های زیر ۵ درصد (شکل ۱۵) و اراضی دارای کاربری مناسب (شکل ۱۶)، به برنامه ArcGIS وارد و با یکدیگر تلفیق شدند. در نهایت محدوده‌های مطلوب برای انتخاب محورهای مناسب مشخص گردید. از نتایج این



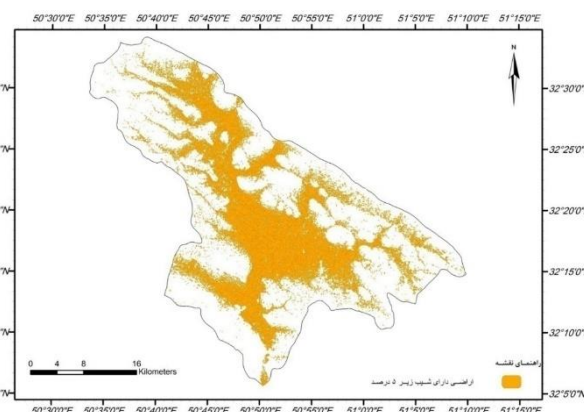
شکل ۱۴- محورهای احتمالی سد زیرزمینی در حوضه



شکل ۱۳- نقشه رقومی توپوگرافی حوضه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰



شکل ۱۶- کاربری اراضی برای احداث سد زیرزمینی



شکل ۱۵- اراضی دارای شیب مناسب برای احداث سد زیرزمینی

(کاربری نامناسب) و محل تکیه‌گاه سد ۷۹ به دلیل فرار آب از مخزن، کمی جابجا شد.

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و به کارگیری معیارهای حذفی در فرآیند مکان‌یابی، توانست تعداد محورهای اولیه را از ۵۱ محور به ۱۲ محور مناسب کاهش دهد. این موضوع بیانگر کارایی بالای تحلیل‌های مکانی در غربال‌گری اولیه گزینه‌های احداث سدهای زیرزمینی است. نتایج حاضر با یافته‌های Forzieri et al. (2007) همخوانی دارد. این پژوهشگران

در مرحله بعد با در نظر گرفتن ملاحظات زمین‌شناختی و پدیده فرار آب و بازدید از محل سدهای زیرزمینی مجدداً تنگه‌ها بررسی گردید و تنگه‌هایی که در مکان‌های مناسب قرار داشتند به مرحله ارزیابی راه یافتند. در این راستا تنگه‌هایی وجود داشتند که در مکان‌های نامناسبی قرار گرفته بودند؛ اما با اعمال تغییراتی، امکان بهبود شرایط در آنها فراهم بود. محور ۶۹ و ۷۹ نمونه‌ای از این نوع محورها هستند. به عنوان مثال، موقعیت محور ۶۹ به دلیل وجود بند مصنوعی

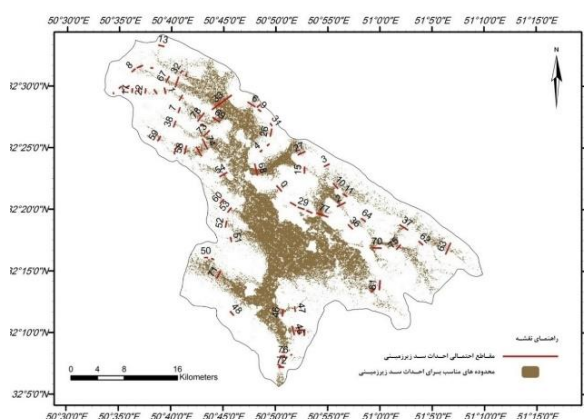
حذف شده و به مرحله بعد معرفی نشدند. محور ۶۱، یک نمونه از این نوع محورها، است که به دلیل حجم مخزن ناچیز حذف شد (شکل ۱۸). در این پژوهش، معیارهایی نظیر شیب کمتر از ۵ درصد، وجود آبرفت مناسب، شرایط زمین‌شناسی مطلوب و نبود پدیده فرار آب نقش تعیین‌کننده‌ای در انتخاب محورهای نهایی داشتند. این یافته با نتایج مطالعات Al-Adamat et al. (2021) و Rahman et al. (2022) مطابقت دارد. این پژوهشگران معیارهای زمین‌شناسی، شیب، لیتولوژی و فاصله از آبراهه‌ها را از مهم‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی آبخوان معرفی کردند. همچنین Rajabi et al. (2025) گزارش کردند که ضخامت آبرفت و شرایط هیدروژئولوژیکی مناسب از مهم‌ترین شاخص‌های موفقیت سدهای زیرزمینی محسوب می‌شوند. از این رو، انتخاب محورهایی با تکیه‌گاه‌های مقاوم و حداقل احتمال نشت، می‌تواند موجب افزایش کارایی ذخیره‌سازی آب و پایداری عملکرد سازه در بلندمدت شود. با تلفیق نقشه محورهای قنوات موجود در حوضه آبخیز دشت شهرکرد (شکل ۱۹) و نقشه تنگه‌های احتمالی احداث محور قنوات، محورهایی که باعث قطع قنوات و تخریب آنها خواهند شد از مجموعه محورهای مناسب برای احداث سد زیرزمینی حذف شدند (شکل ۲۰). به منظور جلوگیری از ایجاد اختلال در تغذیه طبیعی قنوات و حفاظت از منابع آب سنتی، حریم حفاظتی ۵۰ متری پیرامون قنوات به‌عنوان محدوده حذف در نظر گرفته شد که با ضوابط مدیریت منابع آب زیرزمینی ایران و مطالعات مرتبط مطابقت دارد (Salami, 2006).

گزارش کردند که تلفیق داده‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدرولوژی در محیط GIS موجب کاهش چشمگیر هزینه و زمان مطالعات میدانی می‌شود. همچنین Rajabi et al. (2025) در مطالعه مروری خود تأکید کردند که استفاده از GIS به عنوان ابزار اصلی مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، قابلیت حذف سریع گزینه‌های نامناسب و افزایش دقت انتخاب محورهای نهایی را فراهم می‌کند. بنابراین، نتایج این تحقیق نیز نقش مؤثر GIS را در بهینه‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری برای توسعه سازه‌های ذخیره آب زیرسطحی تأیید می‌نماید.

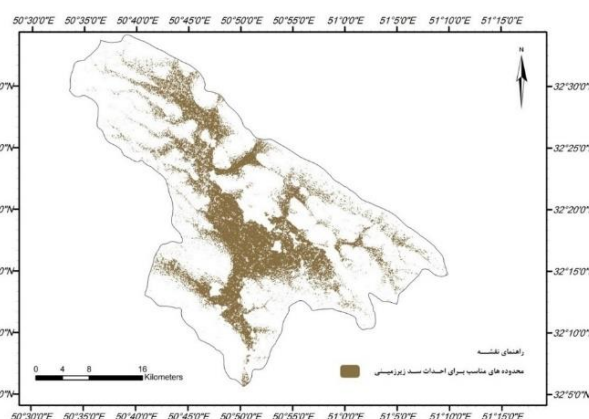
ارزیابی سدهای زیرزمینی

در مرحله ارزیابی، محورهای باقیمانده از سه جهت الف- کمترین عرض برای کاهش حجم کار سازه‌ای؛ ب- حجم مخزن مناسب و ج- وجود منابع آبی حساس (از جمله قنوات) ارزیابی شدند. در گام اول محورهای با عرض بسیار زیاد، حذف شدند. این عامل با توجه به نوع منطقه و مقادیر متراژ محورها متفاوت بود. با توجه به مقادیری که برای عرض هر محور محاسبه شد، محورهایی که دارای عرض بیش از ۲ کیلومتر بودند از نقشه مقاطع احتمالی حذف شدند. عرض محور کمتر از ۲ کیلومتر به عنوان یکی از معیارهای انتخاب تنگه‌های مناسب در نظر گرفته شد. این معیار با هدف کاهش حجم عملیات اجرایی، هزینه ساخت و افزایش پایداری سازه انتخاب شد که با معیارهای رایج طراحی سدهای زیرزمینی همخوانی دارد (UNEP, 1997; Sallwey et al., 2019).

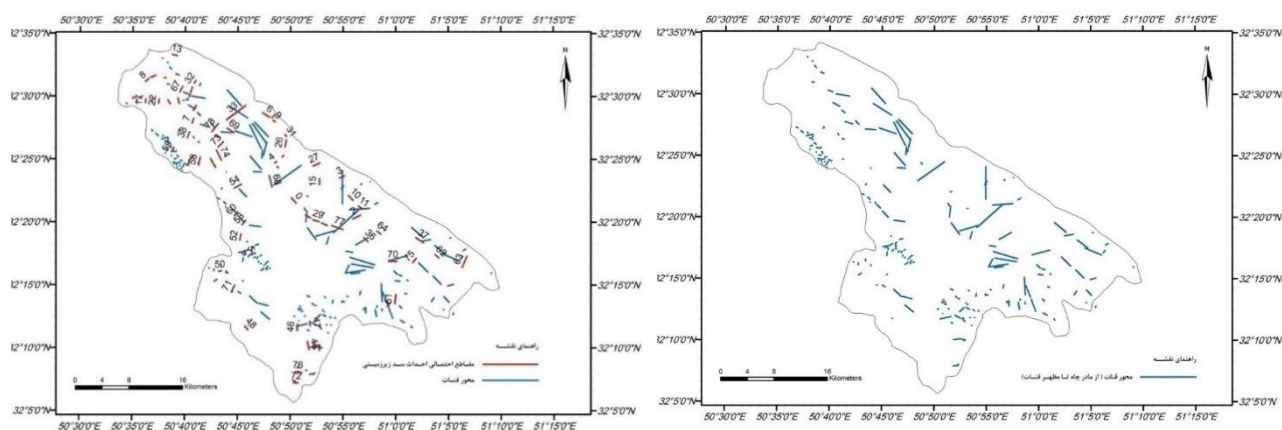
پس از تلفیق نقشه تنگه‌های توپوگرافی با محدوده‌های مناسب احداث سد زیرزمینی (شکل ۱۷)، محورهایی که در بالادست خود مخزن قابل توجهی نداشتند، از چرخه بررسی



شکل ۱۸- تلفیق مقاطع احتمالی و محدوده‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی

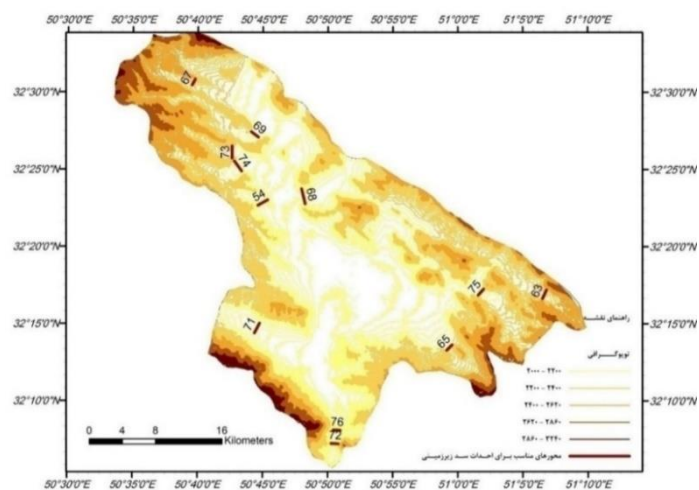


شکل ۱۷- محدوده‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در حوضه



شکل ۱۹- محور قنات حوضه آبخیز دشت شهرکرد

شکل ۲۰- تلفیق محور قنات و مقاطع احتمالی احداث سدهای زیرزمینی
برای بررسی قطع آبدی قنات



شکل ۲۱- محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد

معرفی شده در این مطالعه می‌توانند در مراحل بعدی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره اولویت‌بندی و برای مطالعات اجرایی تفصیلی معرفی شوند.

تقدیر و تشکر

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

تضاد منافع نویسندگان

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

دسترسی به داده‌ها

داده‌های 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، راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله

نویسنده سوم و چهارم: 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. Al-Adamat, R., Diabat, A. and Shatnawi, G., 2021. Combining GIS with multicriteria decision analysis for suitable groundwater recharge site selection. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, pp.1–17. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08925-7>
2. Amini, F., Saghi, H. and Behnamtalab, E., 2026. Integrated BWM–GIS assessment of managed aquifer recharge potential in the transboundary Hari River Basin. *Environmental Earth Sciences*, 85, p.167. <https://doi.org/10.1007/s12665-026-12892-7>
3. CHB Regional Water Company, 2009. *Justification report for extension of the prohibited zone in Shahrekord study area*. Shahrekord, Iran: Water Resources Basic Studies Department.
4. Eghbali Lord, Z., Rasoulzadeh, A., Abedi, A., Alikhani, S. and Fernández-Gálvez, J., 2025. Integrating Geographic Information Systems and Multi-Criteria Decision Analysis for Evaluating Artificial Groundwater Recharge. *Water Resources Management*, 39, pp.3817–3836. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04131-8>

یکی از نقاط قوت این پژوهش، لحاظ نمودن منابع آب حساس به‌ویژه قنات در فرآیند مکان‌یابی بود. نتایج نشان داد که تعدادی از محوره‌های بالقوه به دلیل احتمال قطع یا کاهش آبدهی قنات حذف شدند. این رویکرد با اصول مدیریت یکپارچه منابع آب زیرزمینی سازگار بوده و از بروز تعارضات اجتماعی در مراحل بهره‌برداری جلوگیری می‌کند. در بسیاری از مطالعات پیشین تمرکز اصلی بر معیارهای فیزیکی و هیدروژئولوژیکی بوده است، در حالی که Malczewski (2020) و Eghbali Lord et al. (2025) بر ضرورت تلفیق معیارهای اجتماعی و اقتصادی در فرآیند تصمیم‌گیری‌های مکانی تأکید کرده‌اند. بنابراین، توجه به حقوق بهره‌برداران محلی و پایداری منابع سنتی آب، می‌تواند موفقیت اجرایی پروژه‌های سد زیرزمینی را افزایش دهد.

با در نظر گرفتن عوامل فوق، در مجموع ۱۲ محور برای احداث سدهای زیرزمینی در حوضه آبخیز دشت شهرکرد مناسب تشخیص داده شد که موقعیت آنها در شکل ۲۱ ارائه شده است. این محورها در تنگه‌هایی با کاربری مناسب، شیب زیر ۵٪ در بالادست، تکیه‌گاه‌های مقاوم، حجم سازه‌ی کم و مخزن قابل توجه قرار دارند. همچنین، از مخازن این سدها فرار آب وجود ندارد و احداث سد باعث قطع آبدهی یا کاهش قابل توجه منابع آبی حساس مانند قنات نمی‌گردد. محور ۶۵ یک نمونه از مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی را نشان می‌دهد. وجود قنات در این قسمت از خصوصیات مثبت سد به‌شمار می‌رود. احداث سد در محور ۶۵، باعث افزایش آبدهی قنات بالا دست خواهد شد.

این نتیجه با یافته‌های Nthokwa et al. (2025) همسو است که نقش سازه‌های ذخیره آب زیرسطحی را در افزایش تاب‌آوری منابع آب مناطق خشک و نیمه‌خشک تأیید کردند. همچنین Stefan and Ansems (2018) نشان دادند که پروژه‌های تغذیه مصنوعی آبخوان در بسیاری از مناطق جهان به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارهای سازگاری با کم‌آبی و تغییرات اقلیمی شناخته می‌شوند.

نتیجه‌گیری

با توجه به روند افت سطح آب زیرزمینی در دشت شهرکرد و پیش‌بینی ادامه کاهش ذخایر آبخوان، نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای مهمی برای اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و مدیریت پایدار منابع آب باشد. شناسایی ۱۲ محور مناسب، نشان می‌دهد که ظرفیت مناسبی برای توسعه سازه‌های ذخیره آب زیرسطحی در منطقه وجود دارد از این‌رو، محوره‌های

- Methodology for Managed Aquifer Recharge Suitability Mapping in Poland. *Water*, 18(2), p.219. <https://doi.org/10.3390/w18020219>
18. Stefan, C. and Ansems, N., 2018. Web-based global inventory of managed aquifer recharge applications. *Sustainable Water Resources Management*, 4, pp.153–162.
 19. Talebi, A., Mandegar, A.R., Parvizi, S., Poordara, H. and Barkhordari, J. (2023). Underground dam site selection using hydrological modelling and analytic network process. *Groundwater for Sustainable Development*, 23, 100976. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100976>
 20. United Nations Environment Programme (UNEP), 1997. Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean. Osaka: International Environmental Technology Center
 5. Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F. and Castelli, F., 2007. 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, pp.74–85. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2007.04.014>
 6. Hamlat, A., Errih, M. and Guidoum, A., 2003. Groundwater dam: A tool for sustainable development in arid regions. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(3), pp.184–190. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496)
 7. Lalehzari, R. and Tabatabaei S.H., (2010) Groundwater quality analysis in Shahrekord aquifer. *Journal of Environmental Studies*, 36 (53), pp.55-62
 8. Mahdavi, A., Tabatabaei, S.H., Nouri, M.R. and Mahdavi R., 2010. Identification of groundwater artificial recharge sites using fuzzy logic: a case study of Shahrekord Plain, Iran. *Iranian J Irrig Drainage* 6 (2), pp.1013-1027
 9. Malczewski, J., 2020. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(7), pp.1251–1281.
 10. Nilsson, A., 1988. Groundwater Dams for Small-Scale Water Supply. London: Intermediate Technology Publications. 69p.
 11. Nthokwa, K., Tafesse, N.T., Alemaw, B.F., Mbulawa, Z.Z. and Kgosietsile, B., 2025. Assessment of suitable sub-watersheds for sand dams and prioritization of artificial sandy aquifers for sustainable groundwater development. *Scientific Reports*, 15, p.33171. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16120-3>
 12. Rahman, M.A., Rusteberg, B., Uddin, M.S. and Lutz, A., 2022. Site suitability analysis for managed aquifer recharge using remote sensing and GIS-based multicriteria techniques. *Water*, 14(5), p.771. <https://doi.org/10.3390/w14050771>
 13. Rajabi, A.M., Alizadehnia, S. and Sohrabi Bidar, A., 2025. A review of studies on underground dam site selection. *Physics and Chemistry of the Earth*, 145, p.103995. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.103995>
 14. Salami, H. (2006). Determination of Suitable Areas for Underground Dam Construction in Volcanic Regions Using Remote Sensing (Case Study: Northern Slopes of the Karkas Mountains). M.Sc. Thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (in Persian).
 15. Sallwey, J., Bonzi, C., Fasken, T. and Ribolzi, O., 2019. Groundwater dams and subsurface water harvesting systems: A review. *Water*, 11(7), 1350. <https://doi.org/10.3390/w11071350>
 16. Singh, R., Patel, A., Sharma, V. and Kumar, D., 2023. GIS and remote sensing-based identification of suitable sites for managed aquifer recharge in semi-arid regions. *Sustainable Water Resources Management*, 9, p.118. <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00825-4>
 17. Sitek, S., Janik, K., Piechota, A., Rubin, H. and Witkowski, A.J., 2026. Application of GIS-MCDA