



## Locating and prioritizing areas susceptible to underground dam construction within the Fashand Sub-watershed in Alborz Province

Alireza Majidi<sup>1\*</sup>

1. Assistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. Email: majidi\_geo@yahoo.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<b>Article type:</b> Research Paper	The strong capacity of Geographic Information System (GIS) in spatial data analysis, especially the integration of information layers, helps in selecting the optimal location for an underground dam, considering time and cost savings. Multi-criteria analysis (MCA) is a Geographic Information System (GIS)-based decision-making technique designed based on various criteria. Multi-criteria analysis (MCA) is used to identify the most suitable locations for constructing structures or implementing construction projects, especially at regional and sub-regional scales. Multi-criteria analysis, integrated with GIS, combines various criteria/parameters into a single result and location. The main objective of this paper is to find a practical and applicable method in locations similar to this project by making decisions on the dam's location. The use of GIS and RS techniques was employed to create a weighting model, compare, and prioritize suitable areas for underground dam construction using information and decision support systems. The main socio-economic criteria, water runoff, and water quality and quantity were utilized to determine the dam's location. The results indicated that the southern regions have a high priority for underground dam construction. Based on the ranking of the disaggregated maps, the final range varies between 4.7 and 8.19. Despite the high EC rate and lower permeability class, these areas achieved better results in the final weighting due to shorter distances from settlements, better land use/cover classes, and greater socio-economic impact.
<b>Article history</b>	
<b>Received:</b> 30 November 2024	
<b>Revised:</b> 30 December 2024	
<b>Accepted:</b> 30 December 2024	
<b>Published online:</b> 31 December 2024	
<b>Keywords:</b> Underground dam, analytical hierarchy process, GIS, RS, Fashand.	
Citation: Majidi, A. (2024). Locating and prioritizing areas susceptible to underground dam construction within the Fashand Sub-watershed in Alborz Province, <i>Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems</i> , 12(4), 123-142.	
<b>DOR:</b>	
<b>Publisher:</b> Iranian Rainwater Catchment Systems Association	© Author(s)



\*Corresponding author: Alireza Majidi

Address: Department of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

Tel: +989125833532

Email: majidi\_geo@yahoo.com



## Locating and prioritizing areas susceptible to underground dam construction within the Fashand Sub-watershed in Alborz Province

Alireza Majidi 

1. Assistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. Email: majidi\_geo@yahoo.com

### EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** In general, underground dams are constructed in areas where the groundwater level varies throughout the year, from very high in the rainy season to very low in the dry season. As a result, there is no consistent and reliable trend in the volume of this water. The purpose of these dams is to store water underground instead of on the surface, which offers numerous advantages and benefits. These include minimal surface evaporation, reduced risk of pollution, no flooding of large areas of land, high structural stability, no threat to residents and buildings downstream of the dam, low construction costs compared to surface dams, and the utilization of shallow groundwater.

**Methodology:** The data used in this study include a Digital Elevation Model (DEM) of Fashand extracted from ASTER satellite data with a resolution of 30 meters, geological maps of Shokran at a scale of 1:100,000, permeability maps of Sefidroud and Lakheor Namak basins at a scale of 1:250,000, as well as relief and land use maps of the Fashand quadrangle extracted from the ESA World Cover satellite product with a resolution of 10 meters. Raster databases were created using ArcGIS 10.8 software. The ArcHydro subprogram within this software was utilized to automatically extract watersheds, analyze river flow types (permanent or seasonal), and determine the direction of water flow in the study area. To perform pairwise comparisons, assign weights to each pixel of the raster maps in the study area, and generate weighted maps for spatial evaluations, Expert Choice 11 software was employed. Finally, the Spatial Analyst subprogram in ArcGIS 10.8 software was used to integrate the evaluated maps. This study utilized a decision support system, which is known for its high-precision decision-making capabilities that can effectively address problems with specific, somewhat unknown structures.

**Results and Discussion:** Studies should be hierarchical and step-by-step to determine the feasibility and placement of regional hydraulic infrastructure like underground dams. From stage to stage, lower the study area and boost accuracy. Exclusionary or incompatible criteria for physical and environmental (technical) qualities and situations that might prevent structure development or project execution are identified to improve accuracy, focus, and study cost and time. After identifying exclusionary criteria, locations that fit them may be eliminated step by step depending on significance and priority. The remaining locations will not have utterly incompatible or inappropriate variables and circumstances for building or executing the project. These locations might execute the initiative. In ArcGIS 10.8, the criteria were created as 50-meter-pixel raster layers. Slope is important while choosing axis for subterranean dams. This research assumed a slope of more than 7 percent in riverbed alluvium for precision and scope of work. The ideal slope for building an underground dam is usually more than 5 percent. The software environment and DEM data were used to create a slope map of the research region. The Boolean logic technique allocated one to places with a slope of less than 7% and zero to others.

**Conclusion:** The Geographic Information System (GIS)'s spatial data analysis, notably layer integration, may assist choose the optimal subterranean dam placement to save time and money. This article's main goal is to find a practical and extensible method to places with similar characteristics to the project's location to decide on the best place to build a dam. GIS and RS techniques are needed to create a model for weighting, comparing, and prioritizing suitable areas for underground dams using the DSS decision support system and GIS information layers. In this article, the socio-economic, water escape, and water quality and quantity factors are most useful for identifying subterranean dam locations. The research found that southern areas prioritize subsurface dam construction. Scores for the final integrated map vary from 4.77 to 8.19. Despite their high EC and poor permeability class, these locations are prioritized owing to their shorter distances from the community, better land use/land cover class, and larger socio-economic weighting.

#### Ethical Considerations

**Data availability statement:** The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

**Funding:** No funding is available.

**Authors' contribution:** Alireza Majidi, as the author of the paper, conducted all parts of the research and wrote the whole manuscript.

**Conflicts of interest:** The author of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

**Acknowledgment:** The authors of this article sincerely thank the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute for its financial support of this research and the necessary consultations by relevant experts.

## مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی در زیرحوزه آبخیز فشنند در استان البرز

علیرضا مجیدی \*

۱. استادیار، بخش تحقیقات هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

تهران، ایران، majidi\_geo@yahoo.com

مشخصات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	ظرفیت قوی سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی، بهویژه ادغام لایه‌های اطلاعاتی، با توجه به صرفه‌جویی در زمان و هزینه، به انتخاب مکان بهینه برای یک سد زیرزمینی کمک می‌کند. تحلیل چندمعیاری (MCA) یک تکنیک تصمیم‌گیری متعدد بر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است که بر اساس معیارهای مختلف طراحی شده است. تحلیل چندمعیاری (MCA) برای شناسایی مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث سازه و یا اجرای پروژه‌های عمرانی به خصوص در مقیاس منطقه‌ای و ناحیه‌ای استفاده می‌شود. تحلیل چندمعیاری که با GIS یکپارچه شده است، ترکیب معیارها / پارامترهای مختلف را در یک نتیجه و محل واحد تحلیل می‌کند. با توجه به هدف اصلی این مقاله که یافتن روشی کاربردی و قابل استفاده در مکان‌های مشابه با موقعیت این پروژه با تصمیم‌گیری در محل ساخت سد است، استفاده از تکنیک‌های GIS و RS برای ایجاد مدل وزن دهنده و مقابله و اولویت‌بندی مناطق مناسب برای ساخت سد زیرزمینی با استفاده از سامانه‌های اطلاعاتی و پشتیبانی تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفت. در این مقاله از معیارهای اصلی اجتماعی - اقتصادی، فوار آب و کیفیت و کمیت آب برای تعیین محل ساخت سدهای زیرزمینی استفاده شد. نتایج نشان داد که مناطق جنوبی برای ساخت سدهای زیرزمینی اولویت بالایی دارند. بر اساس رتبه‌بندی نقشه‌های نقیک شده، رنج عددی محدوده نهایی بین ۸,۱۹ تا ۴,۷ متغیر است. علیرغم نزد بالای EC و کلاس نفوذپذیری کمتر، این مناطق به دلیل فواصل کوتاه‌تر از سکونتگاه، کلاس‌های کاربری/پوشش زمین بهتر و اثر اجتماعی-اقتصادی بزرگ‌تر در وزن دهی نهایی بهتر نتایج بهتری کسب کردند.
تاریخچه مقاله	دریافت: ۱۰ آذر ۱۴۰۳ بازنگری: ۱۰ دی ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۰ دی ۱۴۰۳ انتشار برخط: ۱۱ دی ۱۴۰۳
واژه‌های کلیدی:	سد زیرزمینی، روش تحلیل سلسله مراتبی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، پردازش تصاویر ماهواره‌ای، فشنند.
استناد:	مجیدی، علیرضا. (۱۴۰۳). مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی در زیرحوزه آبخیز فشنند در استان البرز. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱۲(۴)، ۱۲۳-۱۴۲.
DOR:	ناشر: انجمن علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران



© نویسنده‌گان

\*نویسنده مسئول: علیرضا مجیدی

نشانی: بخش تحقیقات هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تلفن: ۰۹۱۲۵۸۳۳۵۳۲

پست الکترونیکی: majidi\_geo@yahoo.com

## مقدمه

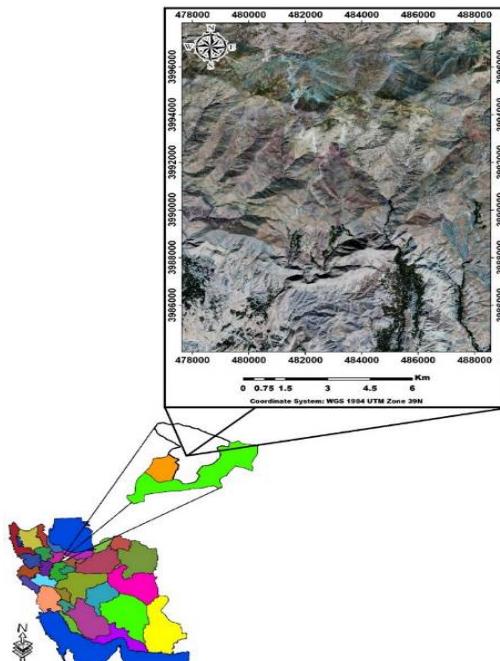
به طور کلی سدهای زیرزمینی در مناطقی احداث می‌شوند که میزان آب‌های زیرزمینی در طول سال از مقادیر بسیار زیاد در فصول بارانی تا بسیار کم در فصول خشک متغیر بوده و بنابراین یک روند ثابت و قابل‌اطمینان در میزان حجم این آب‌ها وجود ندارد. بند زیرزمینی فن‌آوری ساده و کاربردی برای جمع‌آوری و ذخیره سازی آب زیرسطحی یا زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این بندها با هدف توسعه منابع آبی در سطح حوزه‌های آبخیز و در بستر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها و ترجیحاً خشکه‌رودها ساخته می‌شوند و معمولاً تا سنگ بستر نفوذ ناپذیر ادامه می‌یابند. بند زیرزمینی در حقیقت مانع سازه‌ای یا هیدرولیکی در برابر جریان آب زیرسطحی در زیرزمین و در یک محیط متخالخل است. بند آب زیرزمینی در مقایسه با سدهای معمولی که در عرض رودخانه یا نهرها به منظور ذخیره آب سطحی ساخته می‌شوند و آب سطحی را در مخازن بالادست سد جمع‌آوری می‌کنند، جریان زیرزمینی را مسدود، منحرف و یا محدود می‌کند و آب را در زیر سطح زمین در محیط متخالخل ذخیره و یا منحرف می‌نماید.

اساس کار در این سدها ذخیره‌سازی آب در زیرزمین بهجای روی زمین است. استفاده از این فن‌آوری فواید و مزایای بسیار زیادی نسبت به ذخیره آب در سطح دارد که از آن جمله می‌توان به میزان بسیار کم تبخر سطحی، کاهش خطر آلودگی، عدم وجود مشکل غرقاب شدن زمین‌های زیاد، پایداری سازه‌ای بسیار بالا، عدم وجود تهدید برای ساکنین و اینه پایین‌دست سد، هزینه ساخت بسیار کم و همچنین نزدیکی به محل مصرف و مشارکت مردمی در ساخت و نگهداری و بهره‌برداری، اشاره نمود. از طرف دیگر چون در سدهای زیرزمینی آب به طور سطحی ذخیره نمی‌شود، لذا سبب تغییر کاربری اراضی و بوم‌سازگان موجود نیز نمی‌شود و بنابراین از نظر محیط زیستی نیز بی خطر است (خیرخواه زرکش و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از سدهای زیرزمینی در حال حاضر از مناسب‌ترین روش‌ها جهت مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در کشور و حل معضل کم‌آبی و مدیریت ریسک خشکسالی محسوب می‌شود. در ایران و سایر نقاط جهان تحقیقات زیادی در مورد مکان‌یابی و اولویت‌بندی احداث سدهای زیرزمینی انجام گرفته است و نمونه‌های زیادی نیز به مرحله اجرا رسیده است. در این زمینه خیرخواه زرکش و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی مکان‌یابی و اولویت‌بندی احداث سدهای زیرزمینی در استان قزوین بر مبنای استفاده همزمان از GIS، تکنیک‌های RS و سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS) پرداختند. این مطالعات، تطابق نتایج به دست آمده از مدل ارائه شده در این تحقیق را با نتایج مطالعات تکمیلی، نشان داد و صحت این مدل را تأیید نمود. خدادادی و همکاران (۱۳۹۷) با توسعه یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری طی سه مرحله، به مکان‌یابی سد زیرزمینی در منطقه شبستر (شمال شرق ارومیه) پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد شرایط مناسب در دشت‌های میان‌کوهی و مخروطافکنهای واقع در دامنه‌های کوهستانی، دهانه خروجی دره‌ها و مسیل‌ها فراهم است.

خدای و همکاران (۱۳۹۹) به مکان‌یابی مناطق مناسب سد زیرزمینی در حوضه آبریز قوری چای با استفاده از GIS/RS به روش وزن‌دهی بر اساس تابع کوئین پرداختند. نتایج نشان داد این روش ترکیبی یک روش کارآمد برای انتخاب مکان بهینه سد زیرزمینی است. دهقانی و کوهبنانی (۱۴۰۰) به مکان‌یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از GIS ادغام شده با الگوریتم فاری پرداختند. نتایج نشان داد برای جلوگیری از اجرای سازه‌ها در مناطق دورافتاده صعب‌العبور، حفظ فاصله از روستاهای ضروری است، همچنین بر اساس یافته‌های پژوهش با افزایش درجه فاری، درصد مناطق مناسب کاهش می‌باید. حیدری مظفر و شهابوند (۱۴۰۰) با ترکیب نقشه‌های فازی در سامانه اطلاعات مکانی (GIS)، مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در دشت کبود‌آهنگ، واقع در شمال استان همدان را شناسایی کردند. نتایج نشان داد که در صورت وجود داده‌های مناسب مکانی و نقشه‌های با دقت بالا، روش ترکیب نقشه‌های فازی می‌تواند نتایج مناسبی برای پیش‌بینانه مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی را ارائه نماید. Barkhordari (2015) در پژوهشی با استفاده از تکنیک‌های سامانه اطلاعات زمین-مکانی و سنجش از دور به مکان‌یابی اولیه سدهای زیرزمینی در حوضه آبخیز اردکان یزد اقدام کرد. نتایج نشان داد ۴۶/۷ درصد از سطح حوضه دارای قابلیت متوسط است و ۲۶/۶ درصد آن قابلیت بسیاری برای احداث سد زیرزمینی دارد. Ilyati et al (2020) به تلفیق روش‌های سنجش از دور و رادار برای تخمین مناطق مناسب برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در دشت ابو زید‌آباد پرداختند. نتایج نشان داد این روش ترکیبی، یک روش کارآمد برای انتخاب مکان بهینه سد زیرزمینی است. Adjei Damfeh et al (2022) از فرایند تحلیل سلسه‌مراتبی فازی برای انتخاب مکان بهینه برای سد زیرزمینی در شهرداری Sunyani-West غنا استفاده کردند. نتایج نشان داد این روش یک روش کارآمد برای انتخاب مکان بهینه سد زیرزمینی است. Choi et al (2023) به اولویت‌بندی شش سایت سد زیرزمینی با استفاده روش‌های FUZZY AHP و AHP در منطقه یئونگدونگ استان گانگ وون کره جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد روش ارائه شده در این مطالعه در اولویت‌بندی سدهای زیرزمینی مفید بود و اعتقاد بر این است که می‌تواند بینشی در مورد پتانسیل سدهای زیرزمینی برای امنیت آب در منطقه Yeongdong ارائه دهد.

## مواد و روش تحقیق منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، چهارگوش نقشه ۱:۲۵۰۰۰ نقشه زمین‌شناسی مهندسی و آب‌زمین‌شناسی ورقه فشنده است که در مختصات  $50^{\circ}45' \text{ E}$  تا  $50^{\circ}52' \text{ E}$  طول خاوری و  $36^{\circ}00' \text{ N}$  تا  $36^{\circ}07' \text{ N}$  عرض شمالی قرار دارد. ورقه فشنده با شماره II-SW-6162 در سازمان زمین‌شناسی کدگذاری شده است، در گوشه جنوب باختری نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ فشنده و در نیمه جنوب باختری نقشه زمین‌شناسی ورقه یک صدهزارم شکران واقع شده است. این چهارگوش در غرب استان تهران واقع است و راه‌های مهم دسترسی به این منطقه شامل جاده قدیم و بزرگراه تهران - قزوین است. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن اقلیم این منطقه بهصورت خشک بیابانی است (شکل ۱). باوجود این در نواحی شمالی دشت اقلیم‌های نیمه‌خشک و در بالادست حوضه کردان اقلیم‌های مرطوب نیز توسعه دارند. از نظر میزان بارندگی باتوجه به ایستگاه‌های باران‌سنگی، این منطقه دارای متوسط بارندگی ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر است.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

## روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: لایه رستری و رقومی ارتفاعی DEM محدوده چهارگوش فشنده، مستخرج از داده‌های ماهواره‌ای ASTER با دقت ۳۰ متر، لایه‌های رقومی و رستری نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شکران، نقشه‌های نفوذپذیری ۱:۲۵۰۰۰ در حوضه آبریز سفیدرود و حوضه دریاچه نمک، لایه رقومی و رستری نقشه عوارض زمین و کاربری اراضی محدوده چهارگوش فشنده مستخرج از محصول ماهواره‌ای ESA WorldCover با دقت ۱۰ متر (Zanaga et al. 2022)، در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهمنظور ایجاد پایگاه داده‌ای رستری استفاده شد. همچنین زیر برنامه ArcHydro در این نرم‌افزار، بهمنظور استخراج اتوماتیک حوضه‌های آبریز و تحلیل نوع جریان رودخانه از نظر دائمی یا فصلی بودن و همچنین برای تعیین جهت جریان آبراهه‌های محدوده مورد مطالعه بکار رفت. بهمنظور انجام مقایسات زوجی و تخصیص وزن به هر پیکسل از نقشه‌های رستری محدوده مورد مطالعه و تولید نقشه‌های وزنی برای ارزیابی‌های مکانی، نرم‌افزار Expert Choice 11 استفاده شد. نهایتاً، تلفیق نقشه‌های در محیط GIS انجام شد. در این مقاله از سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده شد. این سامانه‌ها دارای قابلیت تصمیم‌گیری با دقت بالا هستند که می‌توان از آن‌ها بهمنظور حل مشکلات با ساختار مشخص و تا حدودی ناشناخته استفاده کرد (Gorry and Morton, 1971).

انتخاب محل مناسب احداث سازه، از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند در موفقیت یا عدم موفقیت طرح تأثیرگذار باشد. عوامل مختلف فنی، اقتصادی در تعیین محل مناسب احداث سد زیرزمینی موثر شناخته شده‌اند و تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب بهترین محل با

توجه به تعدد معیارهای دخیل، کار پیچیده‌ای است. لذا توسعه یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری بهمنظور تعیین اهمیت معیارها و شناسایی محل مناسب احداث این گونه سدها ضرورت پیدا می‌کند. در این میان کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، مدیریت و تلفیق این داده‌ها و نیز توانایی آن‌ها در ارزیابی چند معیاره مکانی اهمیت ویژه‌ای دارد.

مکان‌یابی نقاط مستعد احداث سد زیرزمینی ابتدائی‌ترین و در عین حال مهم‌ترین بخش از استحصال و مدیریت آبهای زیرزمینی با استفاده از فن‌آوری سدهای زیرزمینی است و این امر ضرورت مطالعات فراگیر با استفاده از روشی که در برگیرنده اطلاعات مکانی و غیرمکانی و توصیفی برای مکان‌یابی باشد را بیش‌تر نمایان می‌سازد. این روش در واقع روشی است مبتنی بر استفاده همزمان از امکانات محیط GIS و اسخراج معیارها و عوامل و پارامترها توسط پردازش تصاویر ماهواره‌ای (RS) و تشکیل یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری (Decision support system) که می‌تواند با انجام ارزیابی‌های چند معیار مکانی و بدون صرف وقت و هزینه زیاد ناشی از بازدیدهای صحراوی و حجم اطلاعات زیاد، نتیجه‌ای با تطابق بالا با واقعیت را پس از کنترل صحراوی، حاصل نماید. مرحله اول از مکان‌یابی سد زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه، شناسایی مناطق مناسب و دارای پتانسیل از بین بین‌نهایت منطقه موجود بر مبنای معیارهای حذفی است. این معیارها شامل کاربری/ پوشش اراضی (Built-up, Permanent water bodies)، سازندهای زمین‌شناسی رخنمون یافته در حاشیه آبراهه‌ها با نفوذپذیری متوسط به بالا به لحاظ پتانسیل فرار آب در محل سد بر مبنای نفوذپذیری (مجیدی و حسینی مرندی، ۱۴۰۳)، حریم گسل (به لحاظ ایجاد منطقه خرد شده در اثر فعالیت گسل) و اثر آن در فرار آب و حریم منابع آبی به لحاظ در نظر گرفتن حق آبه و جلوگیری از تخریب و اختلال در آبدیهی آن‌ها، هستند. این معیارها و حریم‌ها براساس نتایج حاصل از بررسی‌ها در بخش مرور منابع حاصل شده است (مجیدی، ۱۴۰۳، خدادادی و همتی، ۱۳۹۷، Barkhordari, 2022, Damfeh et al., 2015, Choi et al. 2023). حریم از گسل بهصورت یک بافر به شاعع ۱۰۰ متر و برای منابع آبی (چاه، چشمه و قنات) ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد. آبراهه دائمی (دارای دبی پایه) و آبراهه‌های فصلی که در خطالراس‌ها قرار دارند، به لحاظ عدم وجود حجم آب زیرقشری و ضخامت ابرفت مناسب (آبراهه‌ها با رده I, II) و شیب بستر در محدوده ابرفت‌های بستر رودخانه بیش از ۷ درصد هستند (مجیدی، ۱۴۰۳).

قابل ذکر است که معیار شیب به عنوان معیار و شاخصی در تعیین حجم مخزن است و عموماً شیب بستر بیش از ۵ درصد در اکثر منابع به عنوان شیب نامناسب در نظر گرفته شده است. اما در این پژوهش، بهدلیل دقت و خطای محاسبه شیب‌ها در مقیاس مطالعات منطقه‌ای و پیکسل سایزها در این مرحله از مطالعات، شیب بیش از ۷ درصد مبنای معیار شیب برای نواحی یا بازه‌های حذفی بستر آبراهه گرفت. بهدلیل محدودیت در عمق حفاری محور توسط ابزارآلات متناول مانند لودر و بولدوزر و...، عموماً از یکسو حفاری در عمق‌های بیش از ۳۰ متر با این ابزار دشوار و به کندی امکان‌پذیر است و از سوی دیگر برای اعمق بیش از ۳۰ متر نیاز به تکنولوژی‌های پیشرفته و نیروهای متخصص بوده و بسیار هزینه‌بر است. لذا، محورهایی که در آن‌ها ضخامت ابرفت بیش‌تر از ۳۰ متر است نسبت به سایر محورها دارای اهمیت و وزن کمتری هستند. آن‌جا که مخزن سد زیرزمینی یک محیط مختلخل است و آب در تخلخل ابرفت پشت سد ذخیره می‌شود، لذا، عموماً، ضخامت ابرفت کمتر از ۵ متر برای ساخت سد زیرزمینی توجیه اقتصادی ندارد. اطلاعات مربوط به معیارهای حذفی در جدول ۱، قابل مشاهده است.

جدول ۱- پارامترهای حذفی در مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی

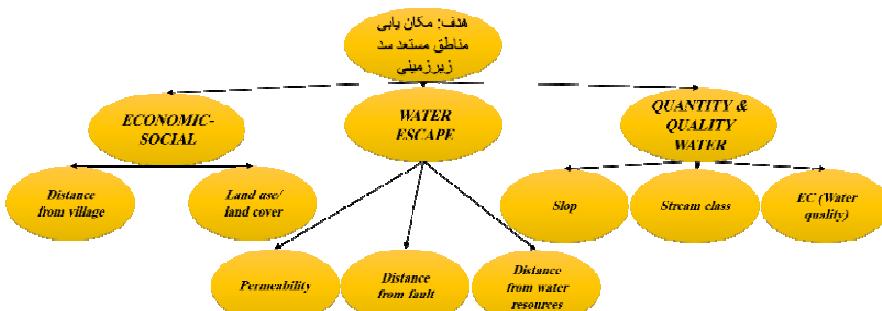
Table 1- Restriction's parameters of the sanitary subsurface dam regions

Restriction's parameters	Properties
Distance from fault	< 100 m
Distance from water resources (well, spring, qanat)	< 200 m
Stream class (strahlerclassification)	I, II
Permeability	Very high, High, Moderate to high
Land use/ land cover	Built- up, Permanent Water Bodies
Alluvial (q)	$5 < q < 30$
Slope	> ۷ %

معیارهای مذکور به شکل لایه‌های رستری با اندازه پیکسل ۵۰ متر در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.8 تهیه و بر اساس منطق بولین به پیکسل‌های نامناسب عدد صفر و پیکسل‌های مناسب عدد یک اختصاص یافت. در مرحله بعد از بین مناطق مناسب و دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی، از طریق روش سلسله‌مراتبی بر مبنای شاخص تناسب، اولویت‌بندی انجام می‌شود.

عوامل مختلفی از جمله معیارهای اقتصادی و فنی در انتخاب محل مناسب احداث سازه‌ها نقش دارند. بسیاری از این معیارها برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در تحقیق حاضر از سه معیار مختلف که بیش‌ترین تکرار را در تحقیقات قبلی داشته‌اند، استفاده شده است. در این تحقیق سه معیار اصلی، فرار آب، کمیت آب و کیفیت آب و اقتصادی-اجتماعی در بالاترین سطح و معیارهای

فرعی و شاخص‌ها در قسمت‌های پایین درخت تصمیم‌گیری قرار گرفتند که معیارهای اصلی خود به معیارهای فرعی دیگر تقسیم شدند. در نهایت این معیارهای فرعی توسط شاخص‌ها که در پایین‌ترین قسمت درخت تصمیم‌گیری قرار دارند مورد ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۲).



شکل ۲- ساختار درخت تصمیم‌گیری AHP مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

Figure 2- AHP decision tree structure used in the study area

در مرحله بعد لایه‌های تهیه شده بر مبنای دانش کارشناسی رده‌بندی و وزن‌های موجود در شاخص‌ها تعیین شد. سپس رده‌های مختلف به صورت دودوئی در قالب یک ماتریس نسبت به یکدیگر سجیده شد. در نهایت هر جفت از معیارهای اصلی دخیل در تصمیم‌گیری شاخص‌های اصلی درخت تصمیم‌گیری نیز دویه‌دو با هم مقایسه شد. این قیاس‌ها به شکل عددی و در یک مقیاس وزنی از ۱ تا ۹ انجام شد. جدول ۲ ارزش معیارها و زیرمعیارها نسبت به یکدیگر را با استفاده از نظر کارشناسی نشان می‌دهد. در نهایت، با اعمال وزن هر کدام از زیرمعیارها در نقشه‌های حاصله و تلفیق نقشه‌های وزن‌دهی شده در محیط (GIS)، نقشه نهایی تولید شد.

جدول ۲- عوامل تصمیم‌گیری مکان یابی سد زیرسطحی، رتبه‌بندی‌ها و لایه‌های ورودی مورد استفاده در تحلیل‌ها

Table 2- Subsurface dam siting decision factors, ratings and input layers used in analyses

Decision factors	Properties		
<b>ECONOMIC- SOCIAL factor group</b>			
Distance from village	> 2 km	5	
	1-2 km	7	
	$\leq 1\text{km}$	9	
Land use/ land cover			
	Tree cover	5	
	Shrub Land, Gross Land, Crop Land	7	
	Bare Land/Sprse Vegetation	9	
<b>WATER ESCAPE factor group</b>			
Permeability	Moderate	5	
	Low to moderate	7	
	Very low to low	9	
Distance from fault	100-200 m	5	
	> 200 m	7	
Distance from water resources	200-500 m	4	
	> 500 m	7	
<b>QUANTITY &amp; QUALITY WATER factor group</b>			
Slop	5-7 %	5	
	3-5 %	7	
	0-3 %	9	
Stream class	III, IV	5	
	V	7	
EC (Water quality)	< 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$	4	
	500-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$	6	
	>500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	8	

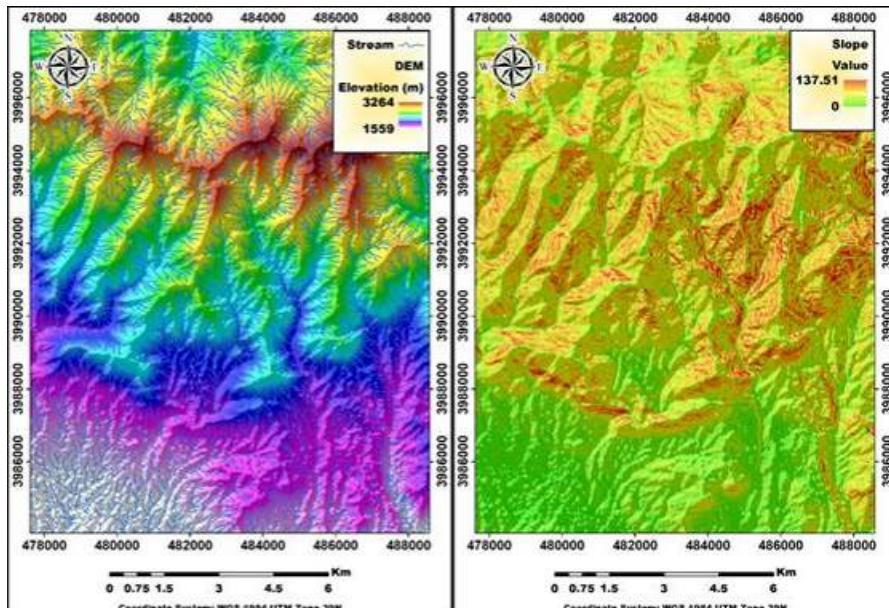
## نتایج و بحث

تحلیل چندمعیاری (MCA) یک تکنیک تصمیم‌گیری مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است که بر اساس معیارهای مختلف طراحی شده است. تحلیل چندمعیاری (MCA) برای شناسایی مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث سد زیرزمینی (Underground Dam) در منطقه مورد مطالعه (حوزه فشنده) استفاده می‌شود. تحلیل چندمعیاری که با GIS یکپارچه شده است، ترکیب معیارها / پارامترهای مختلف را

در یک نتیجه و محل واحد تحلیل می‌کند. با این حال، عوامل و محدودیت‌های خارجی می‌توانند بر تصمیم تأثیر بگذارند. "عوامل، مناسب بودن یک منطقه را بهبود می‌بخشند، درحالی‌که، محدودیت‌ها، مناسب بودن آن را محدود می‌کنند" (Eastman et al., 1998). هنگامی که عوامل و محدودیت‌ها نهایی می‌شوند، استانداردسازی معیارها ضروری است. در این پژوهش برای اولویت‌بندی و رتبه‌بندی، از AHP برای اختصاص بهترین و بدترین سطح و وزن به معیارهای مختلف برای تحلیل‌های بعدی استفاده شد.

بهمنظور پتانسیل‌یابی و مکان‌یابی احداث سازه‌های هیدرولیکی نظیر سد زیرزمینی در مقیاس ناحیه‌ای، بهتر است مطالعات بهصورت سلسه‌مراتبی و گام به گام و با هدف کاهش سطح مورد مطالعه و افزایش دقت آن، از هر مرحله به مرحله بعد، انجام پذیرد (مجیدی، ۱۴۰۳). به لحاظ افزایش دقت، تمرکز و کاهش هزینه و زمان مطالعات، ابتدا ویژگی‌ها و شرایط فیزیکی و محیطی (فني) که حضور وجود هریک از آن‌ها در هر مکان یا ناحیه، می‌تواند احداث سازه یا اجرای پروژه را کامل منتفی نماید، به عنوان معیارهای حذفی یا ناسازگار، شناسایی شد؛ سپس، با مشخص نمودن نواحی واجد معیارهای فوق و حذف این نواحی از سطح منطقه مورد مطالعه بهصورت گام‌به‌گام بر اساس اهمیت و اولویت آن‌ها، در نهایت به نواحی از سطح حوزه خواهیم رسید که فاقد عوامل و شرایط ناسازگار یا نامناسب مطلق جهت احداث سازه یا اجرای پروژه است. در حقیقت، می‌توان بیان کرد که نواحی باقی‌مانده، نواحی دارای پتانسیل بالقوه برای اجرای پروژه هستند.

بدین منظور، معیارهای مذکور به شکل لایه‌های رستری با اندازه پیکسل ۵۰ متر در محیط نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS10.8)، تهیه شد. این معیارها عبارتند از شیب که از جمله عوامل بسیار مهم در انتخاب محورهای مناسب احداث سدهای زیرزمینی است. شیب نامناسب جهت احداث سد زیرزمینی بر مبنای مرور منابع انجام شده، بیش از ۵ درصد است که در این مطالعه با احتساب خطای موجود در مقیاس مطالعات که قابل نیز بیان شد، بیش از ۷ درصد در محدوده ابرفت‌های بستر رودخانه در نظر گرفته شد (مجیدی، ۱۴۰۳؛ لذا، در این مرحله با استفاده از محیط نرم‌افزاری (GIS) و داده مدل ارتفاعی رقومی ناحیه (DEM) (شکل ۳)، نقشه شیب محدوده مورد مطالعه تهییه (شکل ۴) و پس از کلاسه‌بندی شیب در چهار کلاس و با استفاده از روش منطق بولین، به مکان‌های با شیب کمتر از ۷ درصد ارزش عددی یک و سایر مناطق که شیب بیش از ۷ درصد داشتند، ارزش عددی صفر تعلق گرفت.

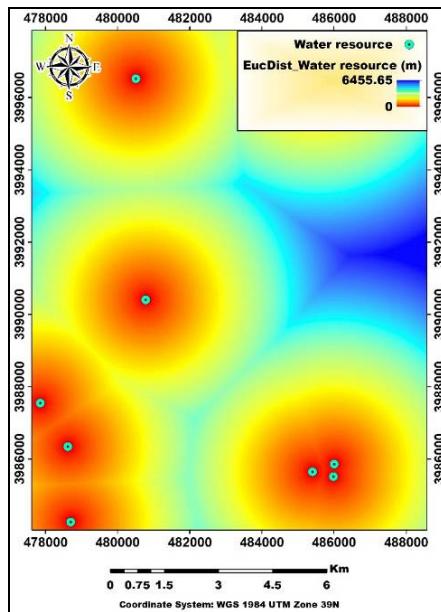


شکل ۳- نقشه مدل ارتفاعی رقومی  
Figure 3- DEM map

شکل ۴- نقشه شیب محدوده مورد مطالعه  
Figure 4- Slope map

معیار بعدی حریم منابع آبی است. بهمنظور عدم تأثیر احداث سد بر آبدی‌های چاه، چشممه و قنوات و یا تخریب آن‌ها، باید با ایجاد یک بافر به شعاع حداقل ۱۰۰ متر برای این منابع، یک حاشیه امن را برای آن‌ها ایجاد نمود (سلامی، ۱۳۸۵). در این مرحله، با استفاده از داده‌های مربوط به موقعیت منابع آب زیرزمینی (چاه، چشممه و قنات) محدوده مورد مطالعه اقتباس شده از شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران (تمام)، با استفاده از مختصات آن‌ها، نقشه رقومی جانمایی این منابع بهصورت یک لایه اطلاعاتی به عنوان نقشه جانمایی منابع آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه در محیط نرم‌افزاری سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، تهییه و بهمنظور تعیین فاصله از منابع آبی، با استفاده از روش فاصله اقلیدسی در محیط نرم‌افزاری GIS، نقشه منابع آبی با حریم در نظر گرفته شده، ترسیم (شکل ۵) و سپس برای آن‌ها، با فری

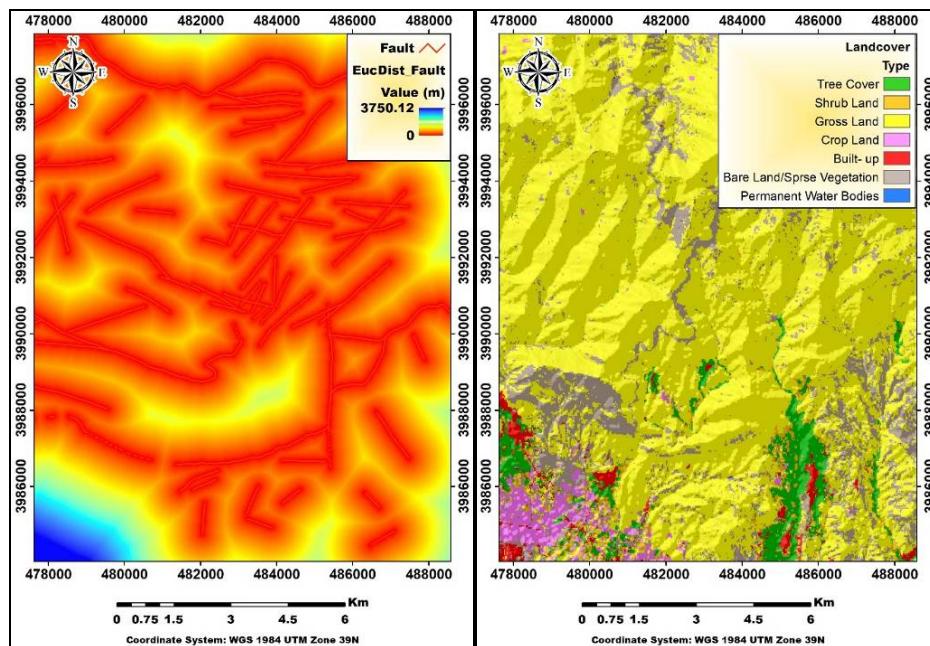
به شعاع ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد. با استفاده از امکانات و دستورات موجود در محیط نرم‌افزاری سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، پس از ایجاد محدوده یا بافر حول منابع آب، تمامی مکان‌های با شعاع کمتر از ۲۰۰ متر از منابع آبی، حذف شد.



شکل ۵- نقشه فاصله اقلیدسی منابع آب  
Figure 5- EucDist\_Water resource area

معیار بعدی حریم گسل است. مطابق گزارش مدیریت بحران شهر تهران در سال ۱۳۹۵، حداقل حریم از لحاظ حرکت و ناحیه خرد شده و بر Shi، برای گسل‌های رده ۱، ۱۵۰ متر برای گسل‌های رده ۲، ۱۰۰ متر و برای گسل‌های رده ۳، ۵۰ متر، در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس، پنهانه خردشده اطراف گسل‌های اصلی (Major Fault) ۱۵۰ متر، گسل‌های معکوس (Reverse Faults) و راندگی‌ها ۱۰۰ متر و گسل‌های کوچک (Mior Faults) با طول کمتر از ۲۰۰ متر، پنهانه گسلشن یا خرد شده ۵۰ متر در نظر گرفته شده است. بر این مبنای، در این مرحله با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای (اعمال فیلتر) و استخراج خطواره‌ها و همچنین، نقشه گسل‌های محدوده مورد مطالعه که در طی مطالعات صحرایی توسط کارشناسان تدقیق می‌شود و متعاقب آن، با استفاده از روش فاصله اقلیدسی در محیط نرم‌افزاری (GIS)، نقشه فاصله از گسل ترسیم (شکل ۶)، سپس یک بافر ۱۰۰ متری برای گسل‌های ناحیه ایجاد و تمامی مکان‌های واقع در شعاع ۱۰۰ متری از گسل‌ها، حذف شد.

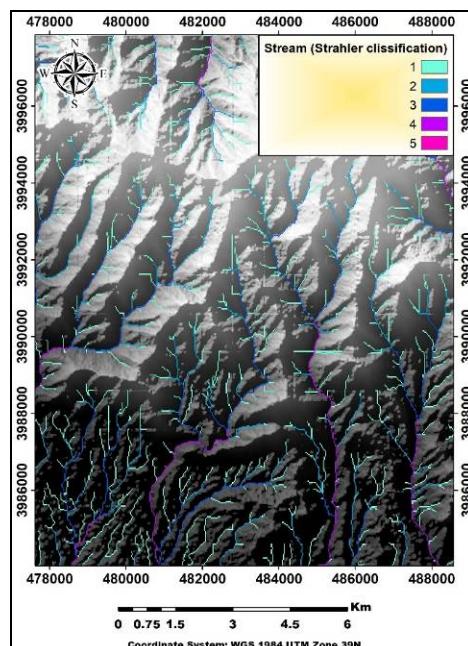
در ابتداء با معیار کاربری اراضی / پوشش، باید برخی محدودیت‌های محلی برای برخی از کاربری‌ها از لحاظ ورود، رفت و آمد یا انجام کارهای سازه‌ای و گودبرداری در آن‌ها و یا منع در دستکاری بستر رودخانه‌ها نظیر، محدوده‌های شهری و روستایی، نواحی نظامی و امنیتی، پارک‌های ملی و حفاظت شده محیط زیست و همچنین، نواحی فاقد شرایط احداث سازه نظیر، بستر رودخانه در بازه‌ها با رخمنون‌های سنگی در بستر و رودخانه‌ها با دبی پایه (رودخانه دائم)، مورد توجه قرار گیرد؛ لذا، باید این اماکن و محل‌ها به خوبی شناسایی و پنهانه‌بندی شوند. از این‌رو باید نقشه کاربری اراضی تهیه شود. در این مرحله با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌توان این لایه‌های اطلاعاتی و نهایتاً، نقشه‌ها را استخراج نمود (شکل ۷). در این حالت و طبق روش بولین، برای محدوده‌های با کاربری اراضی / پوشش‌های ذکر شده، ارزش عددی صفر و برای سایر کاربری‌ها ارزش عددی یک در نظر گرفته شد.



شکل ۷- نقشه پوشش اراضی  
Figure 7- Landcover map

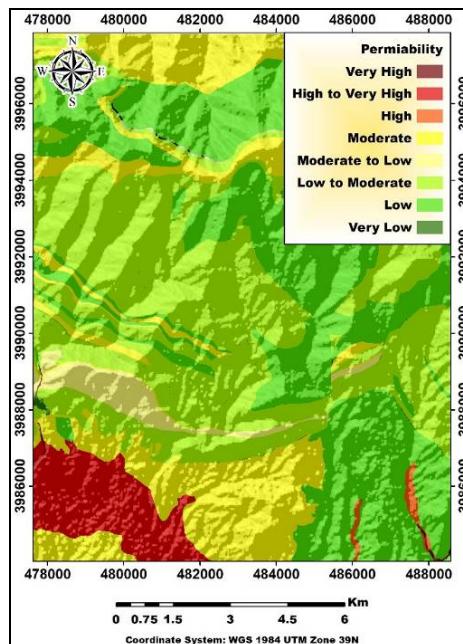
شکل ۶- نقشه فاصله اقلیدسی گسل  
Figure 6- EucDist\_Fault

یکی از معیارهای خذفی در احداث سد زیرزمینی، بستر رودخانه دائمی و آبراهه‌ها با دبی پایه است. اشباع بودن تمامی ضخامت آبرفت بستر در چنین رودخانه‌ها، ضرورت احداث سد زیرزمینی برای مسدود نمودن و ایجاد مخزن آب در محیط متخلخل را منتفی می‌سازد (جزگی و همکاران، ۱۳۸۸). با بررسی‌های انجام شده مشخص شد که منطقه مورد مطالعه فاقه رودخانه با دبی پایه است. اما، بر مبنای رتبه‌بندی رودخانه‌ها، آبراهه‌های رتبه (I، II) به لحاظ قرارگیری در سرشاخه‌ها و خطالراس و با احتمال زیاد در عدم وجود ضخامت مناسبی از آبرفت و دبی آب زیرسطحی، به عنوان معیار حذفی از محدوده مطالعه حذف شدند (شکل ۸).



شکل ۸- نقشه رودخانه‌ها (طبقه‌بندی استراهلر)  
Figure 8- Stream (Strahler lassification)

معیار نفوذپذیری به عنوان معیار حذفی در نظر گرفته شد. با توجه به این مطلب که دیواره‌های جناحین آبراهه‌ها و رودخانه‌ها و سنگ بستر، به عنوان دستک و تکیه‌گاه و پی برای سازه سد محسوب می‌شوند، لذا باید دارای کمترین نفوذپذیری به منظور اطمینان از عدم نشت و فرار آب از جناحین و پی سد باشد تا از حجم آب مورد توقع کاسته نشود و هزینه‌های بابت جبران فرار آب متتحمل شده نشود (مجیدی و حسینی مرندی، ۱۴۰۳). بدین منظور باید لیتولوژی‌ها با نفوذپذیری متوسط تا زیاد و بسیار زیاد را حذف نمود (سلامی، ۳۸۵)؛ لذا پس از تهیه نقشه لیتولوژی‌ها بر اساس، تراوایی یا نفوذپذیری (نقه شکل ۹) لیتولوژی‌ها با احتمال نفوذپذیری متوسط به بالا، حذف شد. این سازنده‌ها شامل، کلیه آبرفت‌های قدیمی، دشت، آبرفت‌های مخروط افکنه‌ها، آهک‌های کارستیک نظیر آسماری، جهرمی، لار و .... است.



شکل ۹- نقشه نفوذپذیری

Figure 9- Permiability map

در انتهای این مرحله، پس از حذف مناطق نامناسب با استفاده از منطق بولین توسط معیارهای حذفی، نواحی دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی در سطح حوزه مشخص شد. در مرحله بعد، نواحی دارای پتانسیل برای احداث سد زیرزمینی توسط یکسری معیارها (شاخصه‌های مناسب بودن مکان برای احداث سازه) مورد بررسی قرار گرفته و نواحی مستعد برای احداث مشخص و سپس، مورد اولویت‌بندی قرار گرفتند، بر مبنای معیارهای تصمیم‌گیر که شامل یکسری معیارهای اصلی، فرعی و شاخصه‌های تاثیرگذار برای انتخاب مکان احداث سد هستند، به صورت تقسیمات درختی و سلسه‌وار مد نظر قرار گرفتند. برای تعیین اولویت مکان‌های مستعد، بر اساس تلفیق این معیارها در هر مکان و با استفاده از تحلیل سلسه‌مراتبی (AHP)، اقدام شد. در این مرحله، برای تعیین وزن معیارهای تصمیم‌گیر و زیرمعیارها که کلاس‌های داخلی معیارهای اصلی هستند، از نظرات کارشناسی کارشناسان پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و کارشناسان خبره متابع آب استفاده و در نهایت با تشکیل ماتریس سلسه‌مراتبی از معیارها و زیر معیارها و مقایسه زوجی بین آن‌ها، تعیین وزن نهایی و اهمیت هر یک از معیارها و زیر معیارها در مقایسه با یکدیگر در نرم‌افزار Expert Choice 11 انجام شد. در این مطالعه، معیارهای اصلی درخت تصمیم‌گیری شامل، معیارهای فرار آب، کیفیت و کمیت آب و معیار اقتصادی - اجتماعی است. معیار فرار آب به سه معیار فرعی (زیر معیار) نفوذپذیری، فاصله از منابع آبی و فاصله از گسل، برای معیار اقتصادی - اجتماعی، دو زیرمعیار فاصله سد از روستا و کاربری اراضی / پوشش اراضی و برای معیار کیفیت و کمیت آب سه معیار فرعی (زیر معیار) شیب، کلاس رودخانه و EC در نظر گرفته شد. در این مرحله به اعمال وزن هر کدام از زیر معیارها پرداخته شد که در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ و وزن اعمال شده در زیر معیارهای اصلی نشان داده شده است.



شکل ۱۰- نمونه اعمال وزن زیر معیارهای معیار کیفیت و کمیت آب

Figure 10- Example of weighting under water quality and quantity criteria



شکل ۱۱- نمونه اعمال وزن زیر معیارهای معيار فرار آب

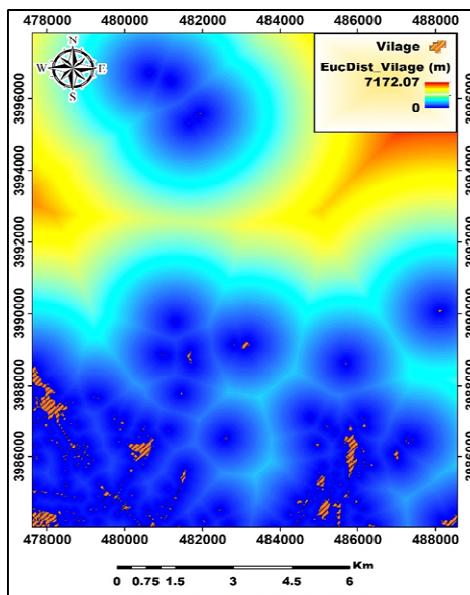
Figure 11- Example of applying weighting below the water escape criterion criteria



شکل ۱۲- نمونه اعمال وزن زیر معیارهای معيار اقتصادی - اجتماعی

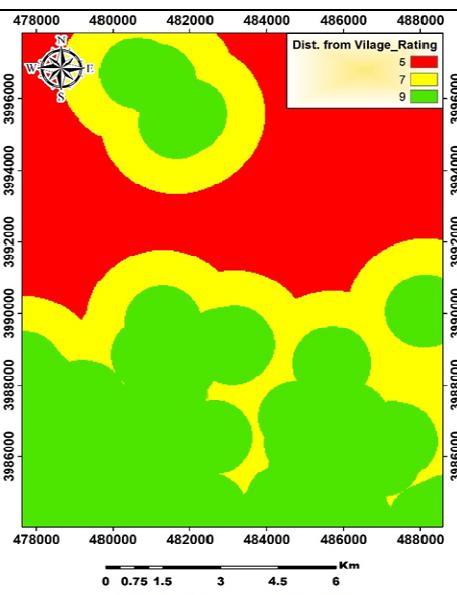
Figure 12- Example of applying weighting to the following socio-economic criteria

باتوجه به این که کاربر و مصرف کننده اصلی و بهره‌برداری و نگهداری سد زیرزمینی در سطح حوزه آبخیز عمدهاً به عهده روستائیان ساکن در مناطق مجاور سد است و این افراد به عنوان اولین کاربران از آب ذخیره شده در مخزن سد مطرح هستند، لذا فواصل کمتر سد تا روستا از امتیاز بیشتری برخوردار است (سلامی، ۱۳۸۵). در این راستا، به منظور تعیین فاصله محورهای سد تا روستاهای اطراف، با استفاده از روش فاصله اقلیدسی در نرم‌افزار ArcGIS نقشه فواصل روستاهای محور سد در حریم در نظر گرفته شده، ترسیم (شکل ۱۳) و بر مبنای مرور منابع، در سه کلاس  $\leq 1\text{ km}$ ,  $1\text{-}2\text{ km}$ ,  $> 2\text{ km}$  مورد مقایسه و وزن دهنی قرار گرفت (شکل ۱۴). از آنجایی که فواصل کمتر سد تا روستا از امتیاز بیشتری برخوردار هستند به کلاس  $\leq 1\text{ km}$  بیشترین وزن (۹)، کلاس  $1\text{-}2\text{ km}$  وزن ۷ و به کلاس  $> 2\text{ km}$  وزن ۵ اختصاص یافت.



شکل ۱۳- نقشه فاصله اقلیدسی از روستا

Figure 13- EucDist\_Vilage map

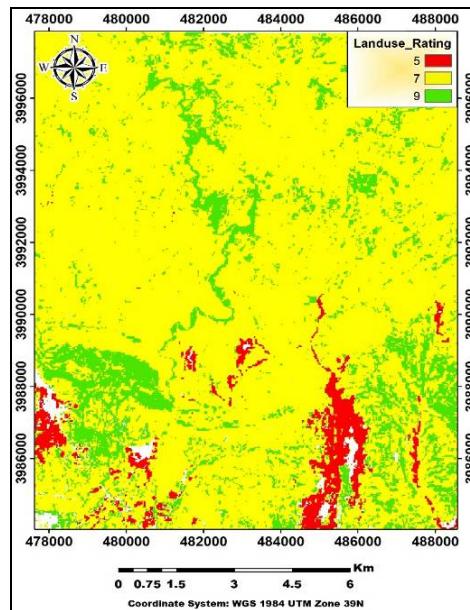


شکل ۱۴- نقشه فاصله از روستا رتبه‌دهی شده

Figure 14- Dist. from Village\_Rating map

پس از حذف مناطق نامناسب در زیر معیار کاربری اراضی، این زیر معیار بر مبنای نتایج مرور منابع، در ۳ کلاس Tree cover با وزن ۵، Shrub Land, Gross Land, Crop Land با وزن ۷ و Bare Land/Sprse Vegetation با وزن ۹ طبقه‌بندی و وزن دهنی شدند (شکل ۱۵). باتوجه به این مطلب که دستک و تکیه‌گاه برای سازه سد باید دارای کمترین نفوذپذیری به منظور اطمینان از عدم نشت و فرار آب از جناحین سد باشد؛ بنابراین در این مقاله زیر معیار نفوذپذیری در سه کلاس Very low to low, Low to moderate, Moderate و کمترین میزان نفوذپذیری حائز کمترین وزن است (مجیدی و حسینی مرندی، ۱۴۰۳)؛ لذا به کلاس Very low to low وزن ۹ و به

کلاس Moderate وزن ۵ اختصاص یافت. در مورد زیر معیار فاصله از گسل، به علت خطر بالقوه نزدیکی به گسل برای سازه سد و همچنین احتمال فرار آب در نتیجه زون خرد شده گسل، این زیر معیار به دو کلاس ( $100\text{--}200\text{ m}$ ) weight = 5 و ( $> 200\text{ m}$ ) weight = 7 تقسیم و وزن دهی شد (شکل ۱۷).



شکل ۱۵- نقشه پوشش اراضی رتبه‌دهی شده

Figure 15- Landcover\_Rating map

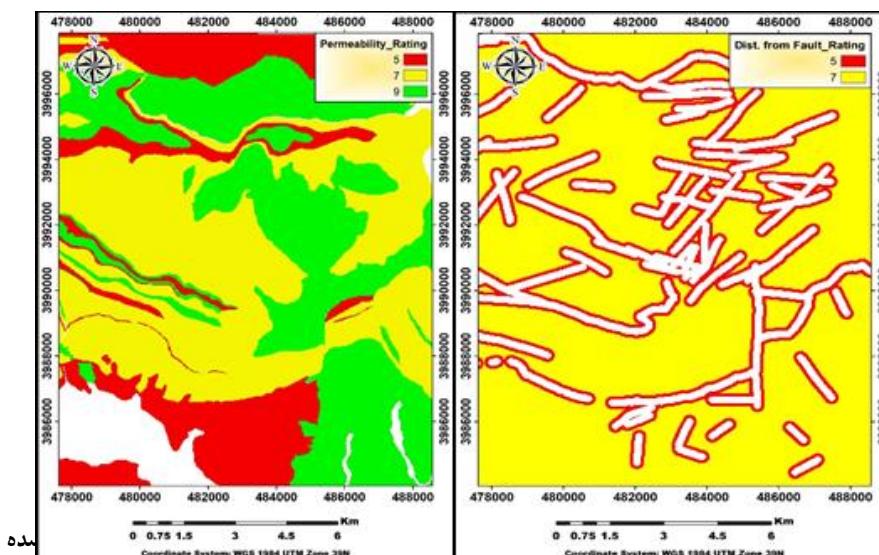


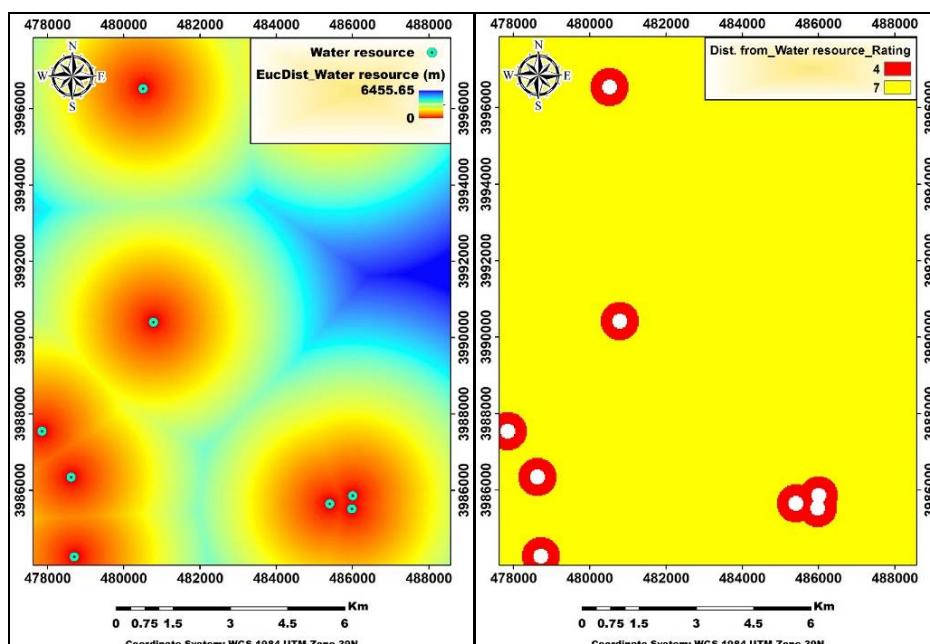
Figure 16- Permeability\_Rating map

Figure 17- Dist. from Fault\_Rating map

در رابطه با زیر معیار فاصله از منابع آبی، با توجه به این نکته که محل احداث سد باید کمترین تأثیر را بر منابع آبی منطقه داشته باشد، لذا با استفاده از روش فاصله اقلیدسی در نرم‌افزار ArcGIS10.8 نقشه فاصله از منابع آب در حربه در نظر گرفته شده برمبنای مرور منابع، ترسیم (شکل ۱۸) و سپس این زیر معیار به دو کلاس  $500\text{--}200\text{ m}$  با کمترین وزن (برابر ۴) و کلاس  $< 500\text{ m}$  با بیشترین وزن (برابر ۷) تقسیم و وزن دهی شد (شکل ۱۹).

همان‌طور که ذکر شد، شبی از جمله عوامل بسیار مهم در انتخاب محل مناسب احداث سدهای زیرزمینی است. با توجه به این مطلب که هرچه شبی آبراهه کمتر باشد، حجم مخزن افزایش می‌یابد؛ لذا پس از حذف شبی‌های نامناسب (شبی بالای ۷ درصد) در مرحله نخست،

زیرمعیار شیب برمبنای مرور منابع به سه کلاس ۳-۰، ۵-۳، ۷-۵٪ تقسیم شد. از آنجایی که کمترین شیب‌های بستر آبراهه از امتیاز بیشتری برخوردار هستند به کلاس ۳-۰، ۳-۰٪ بیشترین وزن (۹) و به کلاس ۷-۵٪ کمترین وزن (۵) و به کلاس ۵-۳٪ وزن ۷ اختصاص یافت (شکل ۲۰). در رابطه با زیر معیار کلاس آبراهه پس از مشخص نمودن دائمی بودن رودخانه‌ها با استفاده از روش استراهله و حذف آن‌ها و همچنین، حذف آبراهه‌های رده I, II, III سایر آبراهه‌ها در دو کلاس تقسیم شد. سپس به آبراهه‌های رده III و IV وزن ۵ و به آبراهه‌های رده V به بالا وزن ۷ اختصاص یافت (شکل ۲۱). در مورد زیر معیار EC با توجه به این که کیفیت نامناسب آب علاوه‌بر این که باعث کاهش ضریب ذخیره می‌شود با محدودیت استفاده از آب جهت مصارف مختلف همراه است؛ لذا زیر معیار EC بر مبنای نتایج مرور منابع به سه کلاس کمتر از ۷۵۰ میکروزیمنس بر ثانیه، ۷۵۰-۵۰۰ میکروزیمنس بر ثانیه و کمتر از ۵۰۰ میکروزیمنس بر ثانیه تقسیم شد. از آنجایی که با کاهش میزان EC کیفیت آب بهبود می‌یابد، لذا به کلاس کمتر از ۵۰۰ میکروزیمنس بر ثانیه وزن ۸، به کلاس ۵۰۰-۷۵۰ میکروزیمنس بر ثانیه وزن ۶ و به کلاس کمتر از ۷۵۰ میکروزیمنس بر ثانیه وزن ۴ تعلق گرفت (شکل ۲۲).

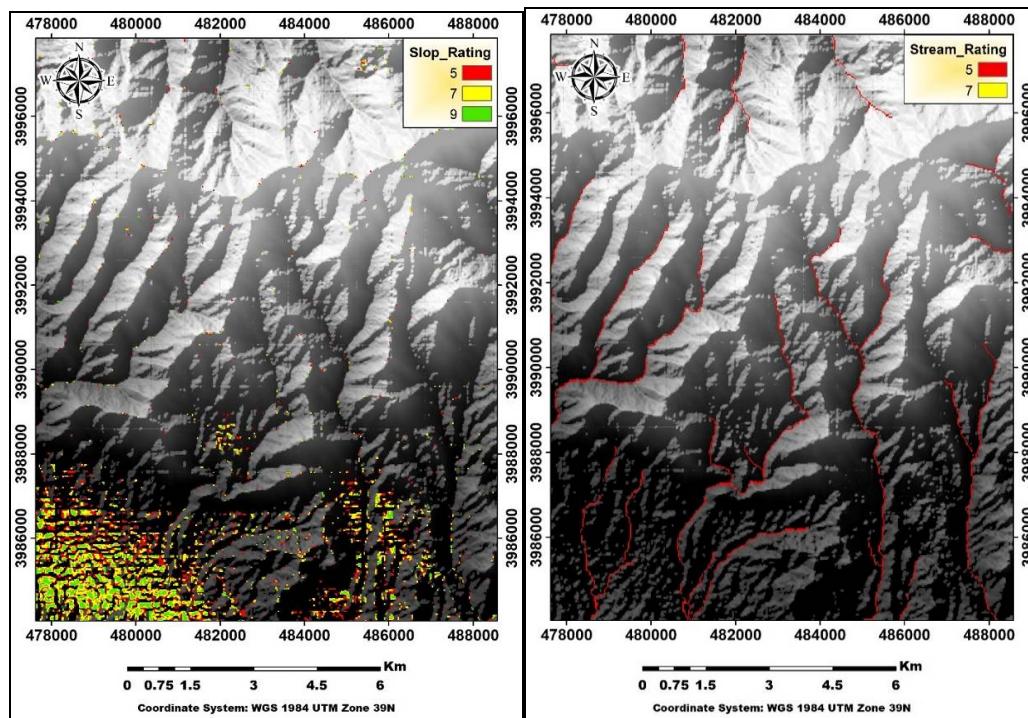


شکل ۱۸- نقشه فاصله از منابع آب

Figure 18- EucDist\_Water resource map

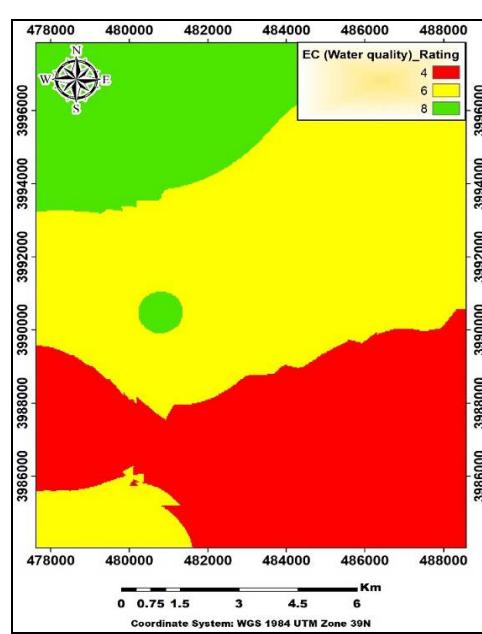
شکل ۱۹- نقشه فاصله از منابع آب رتبه‌دهی شده

Figure 19- Dist. from Water resource \_Rating map



شکل ۲۱- نقشه شبیه رودخانه ها رتبه دهی شده

شکل ۲۰- نقشه شبیه رتبه دهی شده



شکل ۲۲- نقشه (کیفیت آب) EC رتبه دهی شده

در نهایت پس از اعمال وزن هر کدام از زیر معیارها در نقشه های حاصله و تلفیق نقشه های وزن دهی شده به صورت یک عدد نهایی، نواحی بازدها با بیشترین عدد به دست آمده دارای بالاترین پتانسیل و در نتیجه اولویت اول برای احداث سد زیرزمینی است. در این مطالعه دو سناریو در نظر گرفته شد که در سناریوی اول تمام معیارهای اصلی دارای وزن برابر و در سناریوی دوم وزن دهی به ترتیب اهمیت به معیار اصلی اقتصادی - اجتماعی، فرار آب و کیفیت و کمیت آب اختصاص یافت (جدول های ۳ تا ۴) (شکل های ۲۳ تا ۲۴).

جدول ۳- وزن همه عوامل تصمیم‌گیری در سناریوی ۱ (وزن برابر)

Table 3- Weights of all decision factors in scenario 1 (Equal weight)

Factor group	Weight	Criteria	Weight	C.R
Subsurface dam siting suitability				
ECONOMIC- SOCIAL	0.333	Distance from village	0.750	
		Land use/ land cover	0.250	0
WATER ESCAPE	0.333	Permeability	0.627	
		Distance from fault	0.280	0.08
		Distance from water resources	0.094	
QUANTITY & QUALITY WATER	0.333	Slop	0.627	
		Stream class	0.280	0.08
		EC (Water quality)	0.094	

جدول ۴- وزن همه عوامل تصمیم‌گیری در سناریوی ۲ (وزن نابرابر)

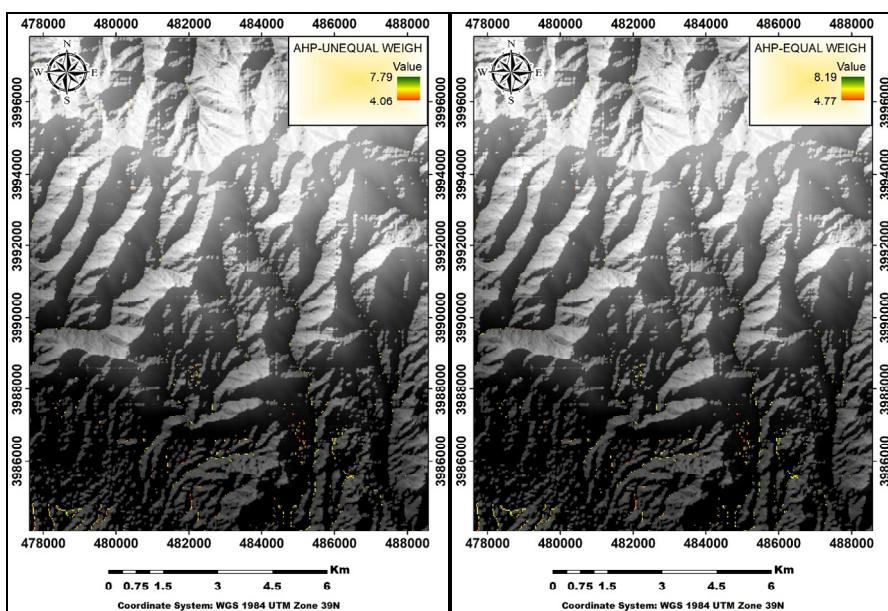
Table 4- Weights of all decision factors in scenario 1 (Non-equal weight)

Factor group	Weight	Criteria	Weight	C.R
Subsurface dam siting suitability				
ECONOMIC- SOCIAL	0.627	Distance from village	0.750	
		Land use/ land cover	0.250	0
WATER ESCAPE	0.280	Permeability	0.627	
		Distance from fault	0.280	0.08
		Distance from water resources	0.094	
QUANTITY & QUALITY WATER	0.094	Slop	0.627	
		Stream class	0.280	0.08
		EC (Water quality)	0.094	

جدول ۵- ردیابی کیفی کلاس‌های محدوده‌های مستعد احداث سد زیرزمینی

Table 5- Qualitative classification of classes of areas susceptible to underground dam construction

Qualitative classification	Pixel value
Very poor	0-1.8
Poor	1.8-3.6
Moderate	3.6-5.4
Good	5.4-7.2
Very Good	7.2-9

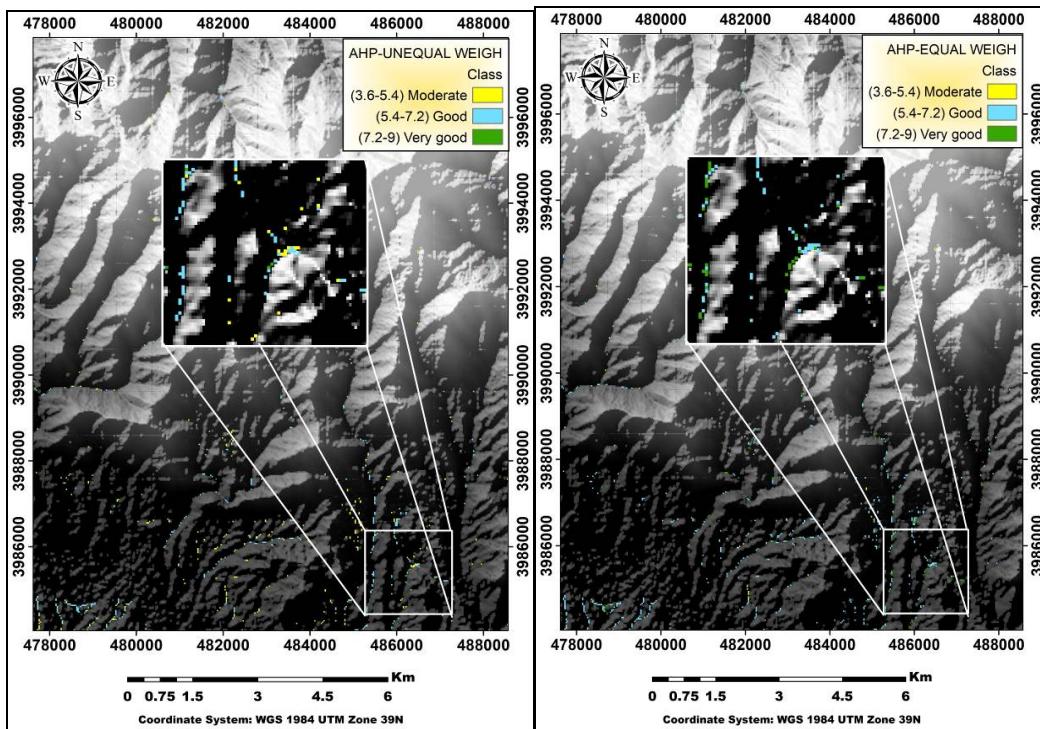


شکل ۲۴- نقشه AHP وزن دهنده در سناریوی وزن برابر

Figure 24- AHP-EQUAL WEIGH map

شکل ۲۳- نقشه AHP وزن دهنده در سناریوی وزن نابرابر

Figure 23- AHP-UNEQUAL WEIGH map



شکل ۲۵- نقشه AHP وزن دهنده کیفی در سناریوی وزن نابرابر و شکل ۲۶- نقشه AHP وزن دهنده کیفی در سناریوی وزن برابر

Figure 25– AHP-Qualitative EQUAL WEIGH map      Figure 26– AHP-Qualitative UNEQUAL WEIGH map

### نتیجه‌گیری

انتخاب محل سد زیرزمینی به عوامل زیادی بستگی دارد. بنابراین، تصمیم‌گیری چندمعیاری می‌تواند برای حل این مشکل مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه، از AHP که از ابزارهای قدرتمند و انعطاف‌پذیر برای حل مسائل چندمعیاری است، برای بافتون محل پهنه‌جات ساخت سد زیرزمینی در حوزه فشنند واقع در استان البرز ایران استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از قابلیت سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در آنالیز داده‌های مکانی بهویژه، ایجاد لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق آن‌ها، با صرف‌جویی در وقت و هزینه و همچنین، افزایش دقت و کیفیت، کمک بسزایی در انتخاب بهترین مکان منطقه متشابه مورد مطالعه می‌نماید. هدف اصلی از این مقاله ارائه یک روش کاربردی و قابل بسط به مکان‌هایی با خصوصیات مشابه منطقه موردنظر ایجاد یک سامانه تصمیم‌گیری برای انتخاب مکان مناسب احداث سد زیرزمینی است. در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی مانند هر مطالعات منطقه‌ای دیگر، استفاده از تکنیک‌های GIS و RS به‌منظور ایجاد یک مدل جهت وزن دهنده، مقایسه و اولویت‌بندی مناطق مناسب احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری DSS و لایه‌های اطلاعاتی GIS، ضروری به نظر می‌رسد. معیارهای اصلی مؤثر در تعیین مناطق مناسب احداث سدهای زیرزمینی در این مقاله معیار اقتصادی - اجتماعی، معیار فرار آب و معیار کیفیت و کمیت آب هستند. از بین معیارهای مختلف مورد بررسی در این تحقیق، معیار کیفیت و کمیت آب اهمیت و وزن بیشتری را به خود اختصاص داد. با توجه به این‌که کاربری اراضی اثر چندگانه بر مکان‌یابی سدهای زیرزمینی دارد، این عامل در جایگاه چهارم اهمیت قرار گرفته است. معمولاً، هدف اصلی از احداث سازه‌های کوچک ذخیره‌سازی آب مثل سدهای زیرزمینی، تأمین آب مصرفی در کشاورزی است که بهتر است در فواصل نزدیک به اراضی کشاورزی احداث شود. تحقیق حاضر نشان داد که مناطق جنوبی حوزه فشند برای احداث سد زیرزمینی از ارجحیت بالایی برخوردارند. بر مبنای امتیازهای به‌دست‌آمده مربوط به نقشه تلفیق شده نهایی، دامنه امتیازها برای نقشه تلفیق شده نهایی متفاوت و به طور کلی بین ۴/۷۷ تا ۸/۱۹ متغیر است.

### ملاحظات اخلاقی

**دسترسی به داده‌ها:** داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

**حمایت مالی:** حمایت مالی وجود ندارد.

**مشارکت نویسنده‌گان:** علیرضا مجیدی: بخش‌های مختلف مقاله توسط نامبرده انجام و نگاشته شده است.

**تضاد منافع نویسنده‌گان:** نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارد.  
**سپاس‌گزاری:** نویسنده‌گان این مقاله، از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به لحاظ حمایت مالی از این پژوهش و مشاوره‌های لازم توسط کارشناسان مرتبط، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## منابع

۱. چزگی، جواد، مرادی، حمیدرضا، خیرخواه زرکش، میر مسعود، قاسمیان، داود. (۱۳۸۸). مکان‌یابی سد زیرزمینی به روش معیارهای حذفی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: غرب استان تهران). *پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گرگان، اردیبهشت ۱۳۹۱*. <https://civilica.com/doc/86986>
۲. حبیبزاده، احد، یاراحمدی، جمشید، مجیدی، علیرضا. (۱۴۰۰). تحلیل هیدرودینامیکی نهشته‌های بستر رودخانه‌های محل احداث سد زیرزمینی به منظور استحصال آب (مطالعه موردی سد زیرزمینی مشنق)، محیط‌زیست و مهندسی آب، ۷(۱)، ۱۳۲-۱۴۲. <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.249955.1430>
۳. حیدری مظفر، مرتضی، و شهابوند، مرتضی. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی دشت کبودراهنگ به منظور احداث سد زیرزمینی به روش ترکیب نقشه‌های فازی. *اطلاعات جغرافیایی*، ۳۰(۱۱۷)، ۹۵-۱۱۰. <https://sid.ir/paper/953874/fa>
۴. خدادادی، سیف‌الله، همتی، محمد. (۱۳۹۷). مکان‌یابی و رتبه‌بندی محل احداث سد زیرزمینی با توسعه سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS). *مطالعه موردی: حوضه‌های دریان و هریس شبستر. هیدرورژئولوژی*، ۳(۱)، ۴۷-۵۹. <https://civilica.com/doc/1565238>
۵. خدایی، حسن، قربانی، محمدعلی، اسدی، اسماعیل، دیر، روح‌الله. (۱۳۸۹). مکان‌یابی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز قوری چای با کاربرد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS/RS) با روش وزن‌دهی بر اساستابع کوین (گزارش فنی). *پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۱(۲۱)، ۲۹۲-۳۰۲. <https://sid.ir/paper/373618/fa>
۶. خیرخواه زرکش، میر مسعود، محجی تفرشی، غزاله، مجیدی، علیرضا، اسدیان، فریده. (۱۳۹۳). استفاده از روش تلفیق GIS و تکنیک‌های RS با سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری در مکان‌یابی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی (مطالعه موردی استان قزوین). [https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089554.1393.8.26.1.2\\_۵۰-۳۵\\_\(۲۶\)\\_۸](https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089554.1393.8.26.1.2_۵۰-۳۵_(۲۶)_۸)
۷. خیرخواه زرکش، میر مسعود، ناصری، حمیدرضا، داودی، محمدهدایی، و سلامی، همت. (۱۳۸۷). استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه‌های کرکس - نظری. *پژوهش و سازندگی*، SID. <https://sid.ir/paper/19299/fa>. ۹۳-۱۰۱. (۲)، (۲)
۸. سلامی، ه. (۱۳۸۵). تعیین مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در مناطق آذرین با استفاده از دورسنجی، مطالعه موردی در دامنه شمالی کوه‌های کرکس. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته هیدرورژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی*.
۹. مجیدی، علیرضا. (۱۴۰۳). امکان‌سنجی احداث سد زیرزمینی در زیر‌حوضه‌های غرب استان سمنان با استفاده از تحلیل‌های سلسه‌مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۲۰۸۵-۳۶۷۲۲۹. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2024.367229.2085>
۱۰. مجیدی، علیرضا، حسینی مرندی، حمید. (۱۴۰۳). بررسی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد فارس. *پژوهش‌های آبخیزداری*، ۲۰. ۲۰. ۱۵۹۸. <https://doi.org/10.22092/wmrj.2024.367366.1598>

## References

1. Khodaei, H., Ghorbani, M. A., Asadi, E., Dabir, R. (2021). Suitable site selection for sub surface dams construction using GIS/RS (Case study: Ghori Chai River Watershed) (Technical Report). *Journal of watershed management research*, 11(21), 292-302. <https://sid.ir/paper/373618/en> [In Persian].
2. Barkhordari, J. (2015). The pre-selection of suitable sites for small underground dams in arid areas using GIS (A case study in Yazd\_Ardakan watershed). *Environmental Science, Geography, Engineering*, Vol. 6, Issue 1. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:133223223>
3. Choi, J. R., Sung J. H., Kang D. H., Choo K. S., & Kim B. S. (2023). A Study on the priority selection method for underground dam installation considering humanities and social factors using fuzzy analytic hierarchy process in Korea. *Water*, 15(18), 3296. <https://doi.org/10.3390/w15183296>
4. Damfeh, E. A., Adakoya, A. F., & Wayor, B. A. (2022). Determining the best site location for underground dams using fuzzy analytic hierarchy process: A case in the Sunyani West District. *International Journal of Advancements in Technology*. 13:201. <https://doi.org/10.35248/0976-4860.22.13.201>
5. Dehghani Bidgoli, R., & Koohbanani, H. (2021). Site selection for underground dam construction by fuzzy algorithm in GIS platform. *Ecopersia*, 9(3), 159-168. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222700.2021.9.3.7.7>
6. Gorry, G. A., & Scott Morton, M. S. (1971). A Framework for Management Information Systems. *Sloan Management Review*, 13, 55-70.

7. Habibzadeh, A., Yarahmadi, J., Majidi, A. (2021). Hydrodynamic analysis of riverbed deposits of underground dam construction site for water harvesting (Case study Mashnaq underground dam). *Environment and Water Engineering (EWE)*, 7(1), 132-142. <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.249955.1430> [In Persian].
8. Heidarimozaffar, M., & Shahavand, M. (2021). Spatial zoning of Kabodarahang plain using Fuzzy Logic in geospatial information system for the construction of an underground dam. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 30(117), 95-110. <https://sid.ir/paper/953874/fa> [In Persian].
9. Ilyati I., Amanian N., Ansari A., Mokhtari M. H. (2020). Combination of remote sensing and ground penetrating radar methods to estimate suitable areas for locating subsurface dams in Abouzeidabad Plain. *Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering*, 10(25), 1-11. <https://doi.org/10.29252/anm.2020.13980.1443>. [In Persian]
10. Kheyrkhah zarkesh, M. M., Mohebbi Tafreshi, G., Majidi A., Asadian F. (2014). Using integration GIS and remote sensing techniques by decision support system to locate suitable areas construction of underground dam (The Case Study of Qazvin province). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 8(26), 35-50. <http://jwmsei.ir/article-1-439-en.html> [In Persian].
11. kheyrkhah zarkesh, m. m., naseri, h. r., davoudi, m. h., salami h. a. (2008). using analytical hierarchy process for ranking suitable location of groundwater dams construction, case study: northern slopes of karkas mountains in natanz. *Pajouhesh-Va-Sazandegi*, 21(2), 93-101. <https://sid.ir/paper/19299/en> [in persian].
12. Khodadadi S., Hemmati M. (2018). Hydrodynamic analysis of riverbed deposits of underground dam construction site for water harvesting (Case study Mashnaq Underground Dam). *The Journal of Hydrogeology*, 3(1), 47-59. <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.249955.1430> [In Persian].
13. Majidi, A. (2024). Feasibility study of undergroud dam constructing in the sub-basins of western Semnan Province using hierarchical analyses and geographic information systems. *Watershed Engineering and Management*, Online from 09 December 2024. [https://jwem.areeo.ac.ir/article\\_132464.html?lang=en](https://jwem.areeo.ac.ir/article_132464.html?lang=en) [In Persian].
14. Majidi, A., Hosseini Marandi, H. (2024). Investigating the engineering geological features of the underground dam construction in Islamabad, Fars. *Watershed Management Research Journal*, Online from 19 December 2024. <https://doi.org/10.22092/wmrj.2024.367366.1598> [In Persian].
15. Salami, H. (2006). Determining suitable locations for constructing underground dams in igneous areas using remote sensing, a case study in the northern slope of the Karkas Mountains. Master's thesis, Hydrogeology, Shahid Beheshti University. [In Persian].
16. Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsednbazar, N. E., Xu, P., Ramoino, F., Arino, O. (2021). ESA worldcover 10 m 2021 v200. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>