Home Page: ije.ut.ac.ir Online ISSN: 2423-6101
Iranian Journal of
ECO HYDROLOGY

Investigating the Sensitivity and Accuracy of Analytical Hierarchy Process (AHP) Process in Construction of Underground Dams in Desert Regions

Najmeh Haj Seyedalikhani[1]* | Hamzeh Saeediyan[2] | Maryam Rezaei[3]

1. Researcher, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran. n.sedalikhani@areeo.ac.ir

2. Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

3. Researcher, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

Article History

Received December 04, 2023
Revised January 31, 2024
Accepted March 15, 2024

Abstract

The use of underground dams has been human interest since ancient times and was built at any time according to the common scientific techniques of different eras. In this study, AHP decision making system method was used to establish the relationship between effective criteria and make a more accurate decision and save time and money. In this method, four watersheds were selected according to the location of Shahdad catchment area, and the statistics and available information were used from four main criteria and 3 sub-criteria and 17 indices in the process of analytic hierarchy process. Then, according to the relative importance of the mentioned criteria and their analysis in Expert Choice software, the final result was obtained. Generally, in Shahdad catchment, the water criterion has the highest weight and importance in the construction of underground dams in Shahdad catchment area and the axis criterion has the least weight and importance. In general, the results showed that Keshit watershed with a weight of 0.573 had the highest priority among the studied watersheds for underground dam construction. Then, the Pashueeyeh watershed with the weight of 0.202 was the second priority for underground dam construction, then Samoon Jahar watershed with a weight of 0.183 had the third priority and finally the Kahnooj Shah watershed with 0.042 had the lowest priority for underground dam construction.

Keywords

Underground Dam, Shahdad Catchment, Desert, Location

سایت نشریه: IJE.UT.AC.IR شاپا الکترونیکی: ۶۱۰۱-۲۴۲۳
آب و هیدرولوژی

بررسی حساسیت و میزان دقت فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در احداث سدهای زیرزمینی مناطق کویری

نجمه حاج سید علیخانی[*۱] | حمزه سعیدیان[۲] | مریم رضایی[۳]

۱. محقق بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. n.sedalikhani@areeo.ac.ir

۲. استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

۳. محقق بخش تحقیقات حافظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

تاریخ‌های مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

چکیده

استفاده از سدهای زیرزمینی از دیرباز مورد توجه بشر بوده است و این سدها در هر زمانی با توجه به فنون رایج علمی آن دوران ساخته می‌شدند. در این پژوهش برای برقراری ارتباط میان معیارهای تأثیرگذار و اخذ یک تصمیم صحیح‌تر و دقیق‌تر و صرفه‌جویی در وقت و هزینه از روش سیستم تصمیم‌گیری AHP استفاده شد. در این روش با توجه به موقعیت حوضهٔ آبریز شهداد، چهار حوضهٔ آبریز انتخاب شد و آمار و اطلاعات موجود از چهار معیار اصلی و سه زیرمعیار و ۱۷ شاخص در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. سپس با توجه به اهمیت نسبی معیارهای یادشده و تحلیل آن‌ها در نرم‌افزار Expert Choice نتیجهٔ نهایی به دست آمد. به طور کلی در حوضهٔ آبریز شهداد، معیار آب دارای بیشترین وزن‌دهی و اهمیت در احداث سدهای زیرزمینی حوضهٔ آبریز شهداد است و معیار محور دارای کمترین وزن‌دهی و اهمیت است. به طور کلی نتایج نشان داد حوضهٔ آبریز کشیت با وزن ۰/۵۷۳، بیشترین اولویت را از بین حوضهٔ آبریز مورد مطالعه برای احداث سد زیرزمینی به خود اختصاص داد. سپس حوضهٔ آبریز پشوئیه با وزن ۰/۲۰۲، دومین اولویت برای احداث سد زیرزمینی، بعد از آن حوضهٔ آبریز سامون جهر با وزن ۰/۱۸۳ سومین اولویت را به خود اختصاص داد و در نهایت حوضهٔ آبریز کهنوج شاه با ۰/۰۴۲ کمترین اولویت را برای احداث سد زیرزمینی داشته است.

کلیدواژگان

سد زیرزمینی، حوضهٔ شهداد، کویر، مکان‌یابی

مقدمه

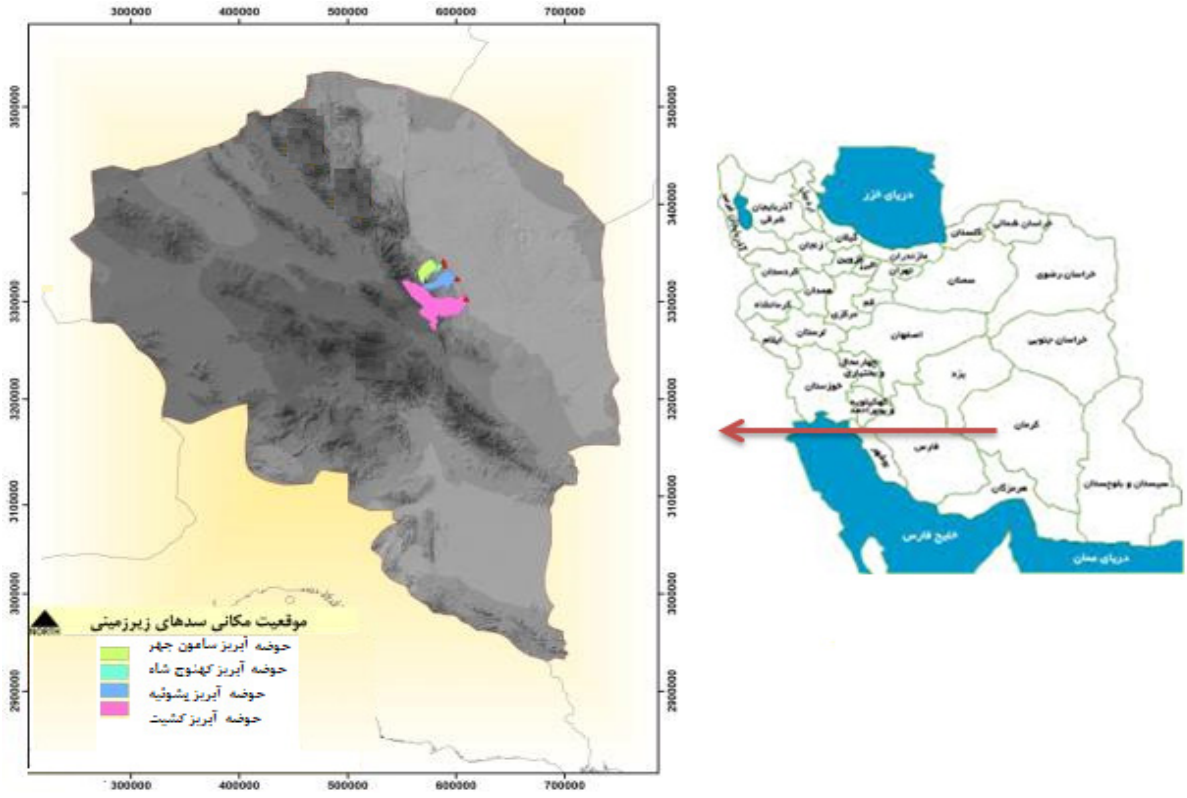
امروزه آب‌های زیرزمینی به علت برداشت‌های بیش از حد و گاه سودجویانه در سراسر دنیا در معرض خطر قرار گرفته‌اند و نیاز است نهادهای بین‌المللی نظارت دقیق‌تری در میزان برداشت آب‌های زیرزمینی در همهٔ کشورها داشته باشند. در آینده‌ای نزدیک رفاه و آسایش جمعیت جهان به بهره‌برداری بهینه و پایدار آب‌های زیرزمینی و سطحی به‌گونه‌ای چشمگیر وابسته خواهد بود[۱ و ۲]. یکی از فناوری‌های نوین در حل بحران کم‌آبی، سد زیرزمینی است [۳]. بندهای زیرسطحی موانعی با توانایی مسدود کردن جریان زیرسطحی آب هستند که موجب می‌شوند آب در آبخوان‌های محلی نگه داشته شود و یا به آبخوان مجاور انتقال یابد [۴]. امروزه استفاده از سدهای زیرزمینی به دلیل ویژگی‌های بارزی که دارند در مناطق مختلف سراسر دنیا در حال گسترش است و این مهم در مناطق کویری به دلیل تبخیر بسیار زیاد از اهمیت بالایی برخوردار است [۵]. سدهای زیرزمینی سازه‌هایی سازگار با شرایط زیست‌محیطی به شمار می‌آیند [۶]. کیفیت آب‌های زیرزمینی مانند آب‌های سطحی مداوم در حال تغییر است [۷]. افزون بر این، منابع آبی زیرزمینی برای بسیاری از جوامع مهم‌ترین منبع تأمین آب آشامیدنی به شمار می‌روند [۸]. از کارآمدترین و مهم‌ترین روش‌ها، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است که برای اولین‌بار توسط توماس آل ساعتی در سال ۱۹۸۰ میلادی مطرح شد. این تکنیک بر اساس مقایسه‌ای زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به محققان و مدیران می‌دهد. در فرایند تصمیم‌گیری اولین قدم شناسایی کامل سیستم یا محیط مورد بررسی به منظور شناخت مشکل یا مشکلات موجود در آن سیستم و همچنین پی بردن به فرصت‌های احتمالی برای عملکرد بهتر سیستم است [۹]. با توجه به ارزش این شاخص‌ها که به آن‌ها معیار نیز گفته می‌شود، اولویتی که هریک از تصمیم‌گیرندگان به هر یک از آن‌ها می‌دهند و به آن‌ها وزن گفته می‌شود، گزینه‌ها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد [۱۰]. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد [۱۱]. توسعهٔ یک سامانهٔ پشتیبانی‌تصمیم‌گیری برای بررسی تعیین معیارها و شناسایی محل‌های مناسب جهت احداث بند زیرزمینی ضروری است [۱۲]. مکان‌یابی از پرکاربردترین تصمیم‌گیری‌های مکانی است که می‌تواند تحت تأثیر بسیاری از عوامل محیطی قرار گیرد [۱۳]. سوری و همکاران (۲۰۱۲) روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و چگونگی استفاده از آن را در تصمیم‌گیری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد این فرایند شیوه‌ای منطقی برای مقایسهٔ گزینه‌ها و معیارها و انتخاب گزینهٔ بهینه با در نظر گرفتن تمامی مشخصه‌های تأثیرگذار است و چارچوب مناسبی برای مشارکت گروهی در تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند. همچنین به دلیل انعطاف‌پذیر بودن، کم‌هزینه بودن و دسترسی سریع به نتیجه، روش مناسبی برای تصمیم‌گیری در انتخاب بهترین طرح و مدیریت در حوضهٔ آبریز محسوب می‌شود [۱۴]. صابری و همکاران (۲۰۱۲) در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در محدودهٔ تاقدیس کمستان در استان خوزستان نشان داد حدود ۵۰ درصد این منطقه دارای پتانسیل خیلی خوب و خوب برای استخراج آب زیرزمینی است و روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی از دقت نسبتاً بالایی برای پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی برخوردار است [۱۵]. زاهدی و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی مناطق مناسب برای ساخت سد زیرزمینی با استفاده از مدل AHP در حوضهٔ درونگر درگز استان خراسان رضوی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که سه عامل شیب، نفوذپذیری و زمین‌شناسی مهم‌ترین عامل در احداث بند زیرزمینی شناخته شد. همچنین ۳۰/۴۳ درصد حوضه جزء مناطق با تناسب زیاد و ۲۳ درصد جزء مناطق به منظور مناسب برای احداث بند زیرزمینی شناخته شد [۱۶]. عرب خزائلی و همکاران (۲۰۱۹) برای یافتن مناسب‌ترین مناطق برای احداث سد زیرزمینی حوضهٔ آبریز کجبید. بالاقلی شهرستان گرمه استان خراسان شمالی بیان کردند

که بهترین محورها در بستر آبرفتی نهشته‌های رودخانه‌ای بخش خروجی حوضهٔ آبریز است [۱۷]. سدهای زیرزمینی در همهٔ کشورها به‌ویژه ایران که سطح آب زیرزمینی نوسان زیادی در فصل خشک و مرطوب دارد، مفید خواهد بود [۱۸]. مهم‌ترین مشکل در توسعه و ایجاد بندهای زیرزمینی پیچیدگی تعیین مناطق مناسب احداث سد است. این مشکلات از آنجا ناشی می‌شود که معیارها و عوامل زیادی شامل معیارهای فیزیکی و اجتماعی - اقتصادی در مکان‌یابی مناسب آن‌ها دخیل هستند. بررسی و تعیین این عوامل در عرصه با استفاده از روش‌های سنتی بسیار پرهزینه است و نیاز به صرف وقت بسیار دارد [۱۹]. در مسیر نیل به این هدف، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که از روش‌های ارزیابی چندمعیاره است به دلیل استفادهٔ هم‌زمان از داده‌های کمی و کیفی و انعطاف‌پذیری و دقت آن، در این مطالعه انتخاب شده است. هدف از این مطالعه، بررسی حساسیت و میزان دقت فرایند تحلیل سلسله مراتبی در احداث سدهای زیرزمینی مناطق کویری است که به نوبهٔ خود تحقیقی ارزشمند و کم‌نظیر محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

حوضهٔ کویر لوت با مساحت ۱۴۵ هزار کیلومتر مربع بزرگ‌ترین حوضهٔ آبریز فلات ایران است که حدود ۹۰ هزار کیلومتر مربع آن را دشت‌های پهناور کویری تشکیل می‌دهند. بخشی از حوضهٔ کویر لوت که در استان کرمان واقع شده حدود ۸۶۵۱۴ کیلومتر مربع وسعت دارد. مناطق مورد مطالعه در حوضهٔ آبریز شهداد که شامل حوضهٔ آبریز پشوئیه به مساحت ۳۱۷/۷ کیلومترمربع و حوضهٔ سامون جهر به مساحت ۲۴۴/۱ کیلومترمربع و حوضهٔ آبریز کهنوج شاه به مساحت ۶۷/۹ کیلومترمربع و حوضهٔ آبریز کشیت به مساحت ۱۱۹۸ کیلومترمربع هستند.



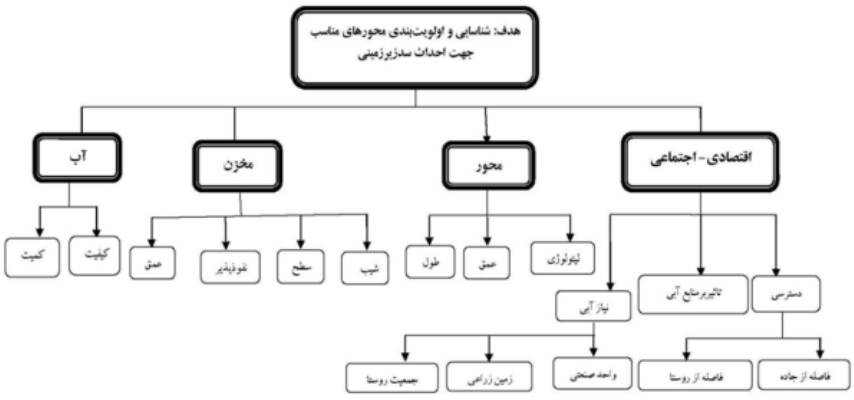
شکل ۱. نقشهٔ موقعیت حوضه‌های آبریز مورد مطالعه در ایران و استان کرمان

نخستین‌گام در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، بیان هدف، معیارها و گزینه‌ها است. سطح نخست در سلسله‌مراتبی هدف را نشان می‌دهد و سطح دوم معیارهای مورد نظر برای رسیدن به هدف مورد نظر را نشان می‌دهد. در سطح سوم (در صورت وجود این سطح) زیرمعیارهای اساسی که بر انتخاب تأثیرگذار هستند آورده می‌شود و در سطح آخر گزینه‌ها یا راهکارها آورده می‌شوند [۲۰]. بعد از ایجاد درخت سلسله‌مراتبی، اهمیت نسبی معیارهای گوناگون نسبت به هم برآورد می‌شود. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد. این قضاوت‌ها به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شدند [۲۱].

جدول ۱. مقادیر کمی قضاوت‌های مدل AHP

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عددی
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲ و ۴ و ۶ و ۸

بعد از مشخص کردن محورها در مرحلهٔ دوم مکان‌یابی، بر اساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به اولویت‌بندی نقاط پرداخته می‌شود. مهم‌ترین بخش در این مرحله انتخاب معیارها و عوامل مؤثر بر هدف تصمیم است. در این پژوهش، سطح نخست، هدف مورد نظر تحقیق را نشان می‌دهد تعیین نواحی مستعد برای اجرای سد زیرزمینی است. در سطح دوم، معیارهای مسئلهٔ تصمیم‌گیری یا پارامترهای مؤثر بر این مقدار وجود دارند که عبارت‌اند از: عوامل آب، عوامل مربوط به محور احداث بند، عوامل مربوط به مخزن بند و عوامل اقتصادی اجتماعی. در سطح سوم زیرمعیارها وجود دارند. زیرمعیارهای یا شاخص‌های آب عبارت‌اند از: کمیت آب و کیفیت آب و زیرمعیارهای مربوط به مخزن بند نیز دربرگیرندهٔ نفوذپذیری، شیب، عمق و مساحت حوضهٔ بالادست بند و زیرمعیارهای مربوط به محور احداث بند شامل عمق آبرفت، طول محور و سنگ‌شناسی تکیه‌گاه‌های محور هستند. زیرمعیارهای عوامل اقتصادی اجتماعی نیز شامل نیاز آبی، دسترسی و تأثیر بر منابع آبی هستند که مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۲. ساختار جریان تصمیم‌گیری AHP مورد استفاده در اولویت‌بندی احداث بند زیرزمینی

پس از مشخص کردن محورها در مرحلهٔ اول مکان‌یابی و تعیین معیارها و ارزش آن‌ها، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه یا MADM[1] و بر مبنای روش تصمیم‌گیری AHP نقاط مناسب برای احداث سد زیرزمینی اولویت‌بندی می‌شوند. داده‌های مورد نیاز در محیط GIS برای اولویت‌بندی چهار محور مشخص شده شاخص‌های موجود در پایین‌ترین قسمت درخت تصمیم‌گیری است، که در واقع همان لایه‌های اطلاعاتی ما برای هر محور است. در این تحقیق با توجه به موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه و آمار و اطلاعات موجود از چهار معیار اصلی و سه زیرمعیار و ۱۷ شاخص در فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. در ادامه با استفاده از ارزش‌های نسبی تعیین‌شده به روش مقایسهٔ دودویی [۲۲] برای این شاخص‌ها و معیارها و استفاده از فرمول برای هر یک از محورها شاخص تناسب محاسبه شد. شاخص تناسب برای هر یک از معیارهای اصلی و فرعی موجود در هر یک از شاخه‌های درخت تصمیم‌گیری جداگانه محاسبه شده و در نهایت پس از تلفیق و جمع کردن آن‌ها به صورت یک عدد نهایی نشان داده می‌شود، که هر چه از مقدار بیشتری برخوردار باشد، محور مورد نظر دارای ارزش بیشتری جهت احداث سد زیرزمینی است. سپس با توجه به اهمیت نسبی معیارهای یادشده و تحلیل آن‌ها در نرم‌افزار Expert Choice نتیجهٔ نهایی بیان شده است.

نتایج

نتایج مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در حوضه‌های آبریز کویر لوت، زیرحوضه‌های پشوئیه، سامون جهر، کشیت و کهنوج شاه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی در جدول‌های ۲ تا ۲۷ و شکل‌های ۳ تا ۸ ارائه شده است.

1. Multiple Attribute Decision Making

جدول ۲. نتایج جمع‌آوری اطلاعات معیارهای مورد نظر برای سدهای زیرزمینی حوضهٔ آبریز شهداد

	کمیت آب (ارتفاع رواناب)	کیفیت آب
طبقهٔ اول	۰-۱	(عالی–خوب) S1-C2
طبقهٔ دوم	۱-۵	(عالی–متوسط) S1-C3
طبقهٔ سوم	۵-۱۰	.....
طبقهٔ چهارم	۱۰-۱۵	.....
طبقهٔ پنجم	۱۵<	.....
واحد	میلی‌متر	-

	نفوذپذیری	شیب	عمق مخزن	سطح مخزن
طبقهٔ اول	۰/۰۱-۰/۱	۰-۲	۰-۲۰	۱۰>
طبقهٔ دوم	۰/۰۳-۰/۵	۲-۴	۲۰-۴۰	۱۰-۲۰
طبقهٔ سوم	۰/۲۵-۱/۵	۴-۶	۴۰-۶۰	۲۰-۳۰
طبقهٔ چهارم	۰/۸-۲/۰	۶<	۶۰<	۳۰-۴۰
طبقهٔ پنجم	۱/۳-۷/۶	.....	.....	۴۰<
طبقهٔ ششم	۲/۵-۲۵/۰	.....	.....	
واحد	سانتی‌متر در ساعت	درصد	متر	هکتار

	عمق آبرفت	تکیه‌گاه محور	طول محور
طبقهٔ اول	۰-۱۰	گروه ۱	۰-۲۰
طبقهٔ دوم	۱۰-۲۰	گروه ۲	۲۰-۴۰
طبقهٔ سوم	۲۰-۳۰	گروه ۳	۴۰-۶۰
طبقهٔ چهارم	۳۰<	گروه ۴	۶۰-۸۰
طبقهٔ پنجم	.....	گروه ۵	۸۰<
طبقهٔ ششم	.....	گروه ۶	.....
طبقهٔ هفتم	.....	گروه ۷	.....
واحد	متر	جنس سازند	متر

	نیاز آب شرب	نیاز آب زراعی	نیاز آب صنعتی	فاصله از روستا	فاصله از جاده	تأثیر بر منابع آبی
طبقهٔ اول	۱>	۱۰۰>	وجود دارد	۱۰۰۰>	۱۰۰۰>	۰-۲۵
طبقهٔ دوم	۱-۲	۱۰۰-۱۰۰۰	وجود ندارد	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۵-۵۰
طبقهٔ سوم	۲-۳	۱۰۰۰-۲۰۰۰	.....	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۵۰-۷۵
طبقهٔ چهارم	۳-۴	۲۰۰۰-۳۰۰۰	.....	۳۰۰۰<	۳۰۰۰-۴۰۰۰	۷۵-۹۰
طبقهٔ پنجم	۴<	۳۰۰۰<	.....	.....	۴۰۰۰<	۹۰<
واحد	هزار نفر	هکتار	.....	متر	متر	درصد

آب از معیارهای اصلی در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی است، که از دو دیدگاه کمیت جریان زیرسطحی و کیفیت شیمیایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر مبنای جدول ارزش‌یابی و تعیین اهمیت با استفاده از قضاوت شفاهی و نظرات کارشناسی، این دو معیار مورد مقایسهٔ دودویی[1] قرار گرفت و اهمیت آن‌ها مشخص شد.

جدول ۳. تعیین اهمیت معیار آب با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

معیارهای فرعی آب	کمیت	کیفیت	اهمیت نسبی
کمیت	۱	۵	۰/۸۳
کیفیت	۱/۵	۱	۰/۱۷

با توجه به اینکه هدف از ایجاد بند زیرزمینی جمع‌آوری و ذخیرهٔ جریان‌های زیرسطحی است، از این رو در این پژوهش کمیت بر پایهٔ مقدار آن طبقه‌بندی شد.

جدول ۴. تعیین اهمیت و وزن مقادیر جریان زیرسطحی با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

ارتفاع رواناب (میلی‌متر)	۱۵<	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۱-۵	۰-۱	اهمیت نسبی
۱۵<	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۰۳۳
۱۰-۱۵	۱/۳	۱	۳	۵	۷	۰/۰۶۳
۵-۱۰	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۱۲۹
۱-۵	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۲۶۱
۰-۱	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۵۱۳

آب‌های موجود منطقه طبق معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی برمبنای شوری و مقدار سدیم طبق روش ویلکوکس طبقه‌بندی شدند. کیفیت آب بر مبنای جدول ارزشیابی و قضاوت‌های کارشناسی مورد مقایسهٔ دودویی قرار گرفت.

جدول ۵. تعیین اهمیت و وزن کیفیت آب با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

کیفیت	S۱-C۲	S۱-C۳	اهمیت نسبی
S۱-C۲	۱	۴	۰/۸
S۱-C۳	۱/۴	۱	۰/۲

1. Pairwise comparision

شکل ۳. وزن نسبی معیار کمیت و کیفیت آب

مخزن، از دیگر معیارهای اصلی است که در اولویت‌بندی محورهای مشخص‌شده دارای نقش مؤثری است. معیارهای فرعی برای بررسی وضعیت مخزن دربرگیرندهٔ عمق مخزن، شیب، نفوذپذیری و گسترش سطح مخزن هستند.

جدول ۶. تعیین اهمیت و وزن معیارهای مخزن با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

معیارهای فرعی مخزن	نفوذپذیری	شیب	سطح	عمق	اهمیت نسبی
نفوذپذیری	۱	۳	۵	۵	۰/۵۶
شیب	۱/۳	۱	۳	۳	۰/۲۵
سطح	۱/۵	۱/۳	۱	۱	۰/۰۹۵
عمق	۱/۵	۱/۳	۱	۱	۰/۰۹۵

مخازنی که ضخامت آبرفت (با استفاده از روش ژئوالکتریک) در آن‌ها زیاد است به دلیل حجم و ذخیرهٔ بیشتر آب، از وزن و اهمیت بیشتری برخوردار است. بر مبنای مقایسهٔ دودویی، ضخامت آبرفت‌های موجود در مخزن مورد وزن‌دهی قرار گرفته است.

جدول ۷. تعیین اهمیت و وزن مقادیر عمق مخزن با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

عمق آبرفت (متر)	۰-۲۰	۲۰-۴۰	۴۰-۶۰	۶۰<	اهمیت نسبی
۰-۲۰	۱	۲	۳	۵	۰/۴۶
۲۰-۴۰	۱/۲	۱	۳	۵	۰/۳۳
۴۰-۶۰	۱/۳	۱/۳	۱	۳	۰/۱۵
۶۰<	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۶

در مرحلهٔ اول پتانسیل‌یابی سدهای زیرزمینی، آبراهه‌هایی با شیب ۲۰ و بیشتر از ۶ درصد به علت شرایط نامطلوب برای احداث سد زیرزمینی نامناسب تشخیص داده شد و حذف شدند. در این مرحله، شیب‌های موجود در محدودهٔ محور و مخازن برمبنای مقایسهٔ دودویی با یکدیگر مورد مقایسه و وزن‌دهی قرار گرفته‌اند.

جدول ۸. تعیین اهمیت و وزن مقادیر شیب با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

شیب (درصد)	۰-۲	۲-۴	۴-۶	۶<	اهمیت نسبی
۰-۲	۱	۳	۵	۷	۰/۵۶
۲-۴	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۲۶
۴-۶	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۱۲
۶<	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۶

سطح مخزن از عوامل تأثیرگذار روی حجم مخازن سدهای زیرزمینی است. بهترین مکان احداث بند در یک رودخانه تنگه‌هایی هستند که دارای بیشترین سطح مخزن در مناطق بالادست جریان باشند، بنابراین وزن و ارزش بیشتری دارند که برمبنای مقایسهٔ دودویی با یکدیگر مورد مقایسه و وزن‌دهی قرار گرفته‌اند.

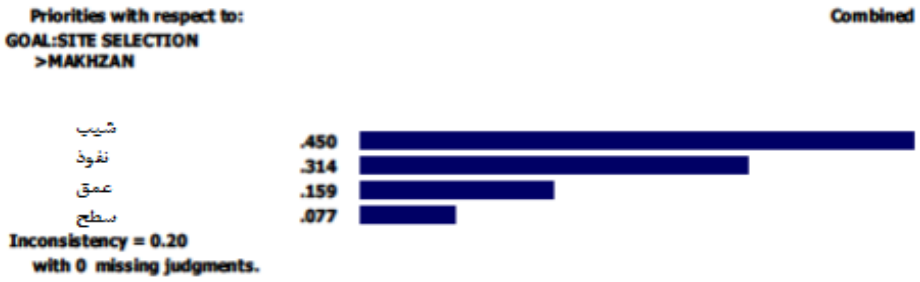
جدول ۹. تعیین اهمیت و وزن مقادیر سطح مخزن با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

سطح مخزن (کیلومتر مربع)	۴۰<	۳۰-۴۰	۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	۱۰>	اهمیت نسبی
۰/۴۰<	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۵۱
۰/۳۰-۰/۴۰	۱/۳	۱	۳	۵	۷	۰/۲۶
۰/۲۰-۰/۳۰	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۱۳
۰/۱۰-۰/۲۰	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۰۶
۰/۱۰>	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۳

نفوذپذیری یکی از عوامل مؤثر در برآورد حجم مخزن است و از طرفی میزان دبی زیرسطحی به نفوذپذیری بستگی دارد. برمبنای مقایسهٔ دودویی، مقادیر نفوذپذیری سطحی در مخازن مورد مقایسه و وزن‌دهی قرار گرفته‌اند.

جدول ۱۰. تعیین اهمیت و وزن مقادیر نفوذپذیری با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

نفوذپذیری سطحی (cm\h)	۰/۰۱-۰/۱	۰/۰۳-۰/۵	۰/۲۵-۱/۵	۰/۸-۲/۰	۱/۳-۷/۶	۲/۵-۲۵/۰	اهمیت نسبی
۰/۰۱-۰/۱	۱	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۷	۱/۹	۰/۰۳
۰/۰۳-۰/۵	۳	۱	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۷	۰/۰۵
۰/۲۵-۱/۵	۴	۳	۱	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۰/۰۸۵
۰/۸-۲/۰	۵	۴	۳	۱	۱/۳	۱/۴	۰/۱۵
۱/۳-۷/۶	۷	۵	۴	۳	۱	۱/۳	۰/۲۵
۲/۵-۲۵/۰	۹	۷	۵	۴	۳	۱	۰/۴۴



شکل ۴. وزن نسبی معیارهای (شیب، نفوذ، عمق، سطح) مخزن

محور از دیگر معیارهای اصلی است که در اولویت‌بندی محورهای مشخص‌شده دارای نقش مؤثری است. معیارهای فرعی که در بررسی وضعیت محور مورد نظر است شامل: عمق محور، طول محور و سنگ‌شناسی تکیه‌گاه‌های محور است.

جدول ۱۱. تعیین اهمیت و وزن معیار محور با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

معیارهای فرعی محور	عمق	طول	تکیه‌گاه	اهمیت نسبی
عمق	۱	۵	۹	۰/۷۴
طول	۱/۵	۱	۴	۰/۱۹
تکیه‌گاه	۱/۹	۱/۴	۱	۰/۰۶

محورهایی که در آن‌ها ضخامت آبرفت بیش از ۳۰ متر است نسبت به سایر محورها دارای اهمیت و وزن کمتری هستند.

جدول ۱۲. تعیین اهمیت و وزن مقادیر عمق محور با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

عمق آبرفت (متر)	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰<	اهمیت نسبی
۰-۱۰	۱	۳	۵	۹	۰/۵۷
۱۰-۲۰	۱/۳	۱	۳	۷	۰/۲۷
۲۰-۳۰	۱/۵	۱/۳	۱	۵	۰/۱۳
۳۰<	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱	۰/۰۴

محورهایی جهت احداث بند زیرزمینی مناسب هستند که علاوه بر داشتن مخزن مناسب جهت ذخیرهٔ آب در بالادست، دارای کمترین طول ممکن جهت ساختن دیواره باشند. محورهایی با طول کمتر دارای ارزش و اهمیت بسیار بیشتری نسبت به دیگر محورها هستند. محورهای موجود برمبنای مقایسهٔ دودویی با یکدیگر مورد مقایسه و وزن‌دهی قرار گرفته‌اند.

جدول ۱۳. تعیین اهمیت و وزن مقادیر طول محور با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

طول محور (متر)	۰-۲۰	۲۰-۴۰	۴۰-۶۰	۶۰-۸۰	۸۰<	اهمیت نسبی
۰-۲۰	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۵۱
۲۰-۴۰	۱/۳	۱	۳	۵	۷	۰/۲۶
۴۰-۶۰	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۱۳
۶۰-۸۰	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۰۶
۸۰<	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۳

بر مبنای بازدیدهای صحرایی و بررسی وضعیت انواع سنگ‌شناسی از نظر میزان خردشدگی و فاصله‌داری و بازشدگی درزه‌ها، واحدهای سنگی از نظر نفوذپذیری گروه‌بندی و مورد مقایسهٔ دودویی قرار گرفتند.

جدول ۱۴. تعیین اهمیت و وزن تکیه‌گاه‌های محور با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

سنگ‌شناسی	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵	گروه ۶	گروه ۷	اهمیت نسبی
گروه ۱	۱	۳	۴	۵	۶	۷	۹	۰/۳۴
گروه ۲	۱/۳	۱	۳	۴	۵	۶	۷	۰/۲۴
گروه ۳	۱/۴	۱/۳	۱	۳	۴	۵	۶	۰/۱۵
گروه ۴	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	۳	۴	۵	۰/۰۹
گروه ۵	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	۳	۴	۰/۰۶
گروه ۶	۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	۳	۰/۰۴
گروه ۷	۱/۹	۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	۰/۰۲

شکل ۵. وزن نسبی معیارهای (سنگ‌شناسی، عمق، طول) محور

مسائل اقتصادی و اجتماعی احداث بند زیرزمینی با تعریف و برآورد نیاز آبی منطقه، تأثیر بند روی منابع آبی موجود و قابلیت دسترسی به بند بررسی می‌شود.

جدول ۱۵. تعیین اهمیت و وزن معیار اقتصادی.اجتماعی با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

معیار فرعی اقتصادی- اجتماعی	تأثیر بر منابع آبی	نیاز آبی	دسترسی	اهمیت نسبی
تأثیر بر منابع آبی	۱	۵	۷	۰/۷۳
نیاز آبی	۱/۵	۱	۳	۰/۱۹
میزان دسترسی	۱/۷	۱/۳	۱	۰/۰۸

در مرحلهٔ اول سعی شد با رعایت حریم ۱۰۰ متری در مسیر قنوات از مسدود شدن جریان آب آن‌ها اجتناب شود، از طرفی قرارگرفتن محور بند در پایین‌دست قنوات نیز می‌تواند در احیای و افزایش آبدهی آن مؤثر باشد. تأثیر بند زیرزمینی بر قنوات پایین‌دست بر اساس درصد در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۶. تعیین اهمیت و وزن درصد کاهش از حوضهٔ آبریز قنات با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

تأثیر بر منابع آبی (درصد)	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵	۷۵-۹۰	۹۰<	اهمیت نسبی
۰-۲۵	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۵۱
۲۵-۵۰	۱/۳	۱	۳	۵	۷	۰/۲۶
۵۰-۷۵	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۱۳
۷۵-۹۰	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۰۶
۹۰<	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۳

زیرمعیار تأمین نیاز آبی شامل تأمین نیاز آبی شرب، نیاز آبی بخش کشاورزی و نیاز آبی بخش صنعتی است. بی‌شک تأمین آب شرب مورد نیاز مناطق مسکونی منطقه نسبت به دو معیار دیگر از درجهٔ اهمیت و اولویت بیشتری برخوردار است.

جدول ۱۷. تعیین اهمیت و وزن تأمین نیاز آبی با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

معیارهای نیاز آبی	نیاز آب شرب	نیاز آب کشاورزی	نیاز آب صنعتی	اهمیت نسبی
نیاز آب شرب	۱	۵	۷	۰/۷۳
نیاز آب کشاورزی	۱/۵	۱	۳	۰/۱۹
نیاز آب صنعتی	۱/۷	۱/۳	۱	۰/۰۸

تعداد افراد ساکن در روستاهای پیرامون محور بند زیرزمینی عامل مهمی در احداث بند زیرزمینی است. لذا محورهای مورد نظر بند زیرزمینی برحسب تعداد افراد بهره‌برنده در استفاده از بند زیرزمینی جهت تأمین آب شرب مورد نیاز با یکدیگر مقایسه و وزن‌دهی شدند.

جدول ۱۸. تعیین اهمیت و وزن مقادیر جمعیت روستاها با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

جمعیت روستا (هزار نفر)	>۴	۳-۴	۲-۳	۱-۲	<۱	اهمیت نسبی
>۴	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۵۱
۳-۴	۱/۳	۱	۳	۵	۷	۰/۲۶

۰/۱۳	۵	۳	۱	۱/۳	۱/۵	۲-۳
۰/۰۶	۳	۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۱-۲
۰/۰۳	۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۱/۹	<۱

در واقع پس از نیاز آبی شرب روستاهای منطقه که در اولویت بیشتری است، تأمین نیاز آبی بخش کشاورزی که در ارتباط مستقیم با وسعت زمین‌های کشاورزی پایین‌دست است از دیگر اولویت‌هایی است که در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی باید به آن توجه کرد.

جدول ۱۹. تعیین اهمیت و وزن مقادیر وسعت زمین کشاورزی با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

اهمیت نسبی	<۱۰۰	۱۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	>۳۰۰۰	وسعت زمین زراعی (هکتار)
۰/۵۱	۹	۷	۵	۳	۱	>۳۰۰۰
۰/۲۶	۷	۵	۳	۱	۱/۳	۲۰۰۰-۳۰۰۰
۰/۱۳	۵	۳	۱	۱/۳	۱/۵	۱۰۰۰-۲۰۰۰
۰/۰۶	۳	۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۱۰۰-۱۰۰۰
۰/۰۳	۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۱/۹	<۱۰۰

محورهای مورد نظر برمبنای وجود داشتن یا نداشتن واحد صنعتی در زمین‌های همجوار با یکدیگر مقایسه و اولویت‌بندی شده‌اند.

جدول ۲۰. تعیین اهمیت و وزن واحدهای صنعتی با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

اهمیت نسبی	وجود ندارد	وجود دارد	واحدهای صنعتی
۰/۹	۹	۱	وجود دارد
۰/۱	۱	۱/۹	وجود ندارد

زیرمعیار میزان دسترسی به سد زیرزمینی دارای دو معیار فرعی فاصله از روستا و فاصله از نزدیک‌ترین جادهٔ اصلی است.

جدول ۲۱. تعیین اهمیت و وزن دسترسی به بند زیرزمینی با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

اهمیت نسبی	فاصله از جاده	فاصله از روستا	معیارهای دسترسی
۰/۸۸	۷	۱	فاصله از روستا
۰/۱۲	۱	۱/۷	فاصله از جاده

یکی از معیارهای مهم در احداث بند زیرزمینی فاصله از روستا است. هر چه محور بند به مناطق روستایی نزدیک‌تر باشد، از اهمیت بیشتری برخوردار است.

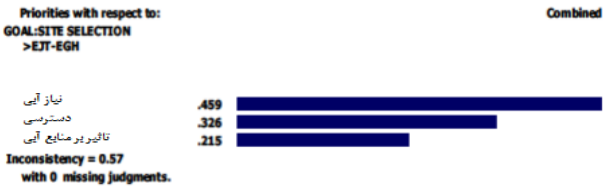
جدول ۲۲. تعیین اهمیت و وزن مقادیر فاصلهٔ محورها از روستاها با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

فاصله از روستا (متر)	<۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰۰<	اهمیت نسبی
<۱۰۰۰	۱	۳	۵	۷	۰/۵۶
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۲۶
۲۰۰۰-۳۰۰۰	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۱۲
۳۰۰۰<	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۵

محورهایی که بر جادهٔ دسترسی نزدیک‌تر هستند، نسبت به سایر محورها اولویت دارند. فاصلهٔ محورها نسبت به جاده مقایسه شده و وزن و اهمیت هریک مشخص شده است.

جدول ۲۳. تعیین اهمیت و وزن مقادیر فاصلهٔ محورها از جاده با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

فاصله از جاده (متر)	<۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰<	اهمیت نسبی
<۱۰۰۰	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۵۱
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱/۳	۱	۳	۵	۷	۰/۲۶
۲۰۰۰-۳۰۰۰	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۱۳
۳۰۰۰-۴۰۰۰	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۰۶
۴۰۰۰<	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۳



شکل ۶. وزن نسبی معیارهای (دسترسی، تأثیر بر منابع آبی، نیاز آبی) اقتصادی-اجتماعی

جدول ۲۴. تعیین اهمیت و وزن مکان‌های مختلف احداث سد زیرزمینی نسبت به کمیت آب با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

آب	سامون جهر	کهنوج شاه	کشیت	پشوئیه	اهمیت نسبی
سامون جهر	۱	۸	۳	۲	۰/۴۵
کهنوج شاه	۰/۱۲۵	۱	۷	۶	۰/۳۱۴
کشیت	۰/۳۳۳	۰/۱۴۳	۱	۴	۰/۱۴۵
پشوئیه	۰/۵	۰/۱۷	۰/۲۵	۱	۰/۰۹۳

جدول ۲۵. تعیین اهمیت و وزن مکان‌های مختلف احداث سد زیرزمینی نسبت به کمیت مخزن با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

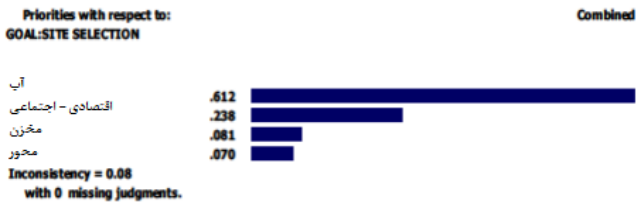
مخزن	سامون جهر	کهنوج شاه	کشیت	پشوئیه	اهمیت نسبی
سامون جهر	۱	۸	۴	۵	۰/۵۳
کهنوج شاه	۰/۱۲۵	۱	۸	۵	۰/۲۷۶
کشیت	۰/۲۵	۰/۱۲۵	۱	۵	۰/۱۴۰
پشوئیه	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱	۰/۰۵۷

جدول ۲۶. تعیین اهمیت و وزن مکان‌های مختلف احداث سد زیرزمینی نسبت به کمیت محور با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

محور	سامون جهر	کهنوج شاه	کشیت	پشوئیه	اهمیت نسبی
سامون جهر	۱	۶	۷	۳	۰/۵۲
کهنوج شاه	۰/۱۶۶	۱	۸	۱	۰/۲۰۵
کشیت	۰/۱۴۳	۰/۱۲۵	۱	۵	۰/۱۶۶
پشوئیه	۰/۳۳۳	۱	۰/۲	۱	۰/۱۱

جدول ۲۷. تعیین اهمیت و وزن مکان‌های مختلف احداث سد زیرزمینی نسبت به کمیت اقتصادی.اجتماعی با مقایسات دودویی در حوضهٔ آبریز شهداد

اقتصادی - اجتماعی	سامون جهر	کهنوج شاه	کشیت	پشوئیه	اهمیت نسبی
سامون جهر	۱	۶	۵	۳	۰/۴۸۴
کهنوج شاه	۰/۱۶۶	۱	۹	۵	۰/۲۹۰
کشیت	۰/۲	۰/۱۱۱	۱	۶	۰/۱۵۰
پشوئیه	۰/۳۳۳	۰/۲	۱۶۶۶	۱	۰/۰۷۵



شکل ۷. وزن نسبی معیارها نسبت به هدف

شکل ۸. وزن نسبی مکان‌های مختلف احداث سد زیرزمینی

بحث

در تعیین ارزش شاخص‌ها در نرم‌افزار Expert Choice، کیفیت آب وزن ۰/۶۲۷ و کمیت آب با وزن ۰/۳۷۳ را به خود اختصاص داد. بنابراین بیشترین وزن مربوط به کیفیت آب است و به عنوان مهم‌ترین شاخص به شمار می‌رود (شکل ۳). کیفیت آب در احداث سدهای زیرزمینی به منظور تأمین آب شرب و همچنین، کشاورزی در مناطق کویری بسیار حائز اهمیت است، چراکه در این مناطق با توجه به شوری آب‌های زیرزمینی کیفیت آب زیرزمینی برای احداث سدهای زیرزمینی ارجح است (شکل ۳). در معیار مخزن در نرم‌افزار Expert Choice، کمیت شیب وزن ۰/۴۵ و میزان نفوذپذیری وزن ۰/۳۱۴ و عمق مخزن وزن ۰/۱۵۹ و سطح مخزن وزن ۰/۰۷۷ را به خود اختصاص داد. بنابراین کمیت شیب دارای بیشترین وزن‌دهی و بیشترین اهمیت در احداث سدهای زیرزمینی در حوضهٔ آبریز شهداد تشخیص داده شد که با یافته‌های تحقیق احمدی و همکاران (۲۰۱۶) که شیب را به عنوان مهم‌ترین معیار ژئومرفولوژی در احداث مکان مناسب احداث آب‌بندان در دشت شمال شهر گرگان در نظر گرفته‌اند، همخوانی دارد [۲۳]. سطح مخزن دارای کمترین وزن‌دهی و اهمیت در احداث سدهای زیرزمینی در حوضهٔ آبریز شهداد تشخیص داده شد. در مناطق کویری برای احداث سدهای زیرزمینی وجود شیب مناسب برای ایجاد جریان هیدرولیکی قابل قبول اهمیت زیادی دارد و در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی باید مد نظر قرار گیرد. در مناطق کویری سطح مخزن به علت تبخیر فوق‌العاده زیادی که در این مناطق وجود دارد از اهمیت کمتری برخوردار است و عمق زیاد مخزن می‌تواند در این مناطق عملکرد مناسب‌تری برای احداث سدهای زیرزمینی داشته باشد (شکل ۴). در معیار محور در نرم‌افزار Expert Choice، سنگ‌شناسی دارای وزن ۰/۷۱ و طول محور دارای وزن ۰/۱۴۹ و عمق محور دارای وزن ۰/۱۴۹ است. بنابراین سنگ‌شناسی دارای بیشترین وزن و اهمیت برای احداث سدهای زیرزمینی در حوضهٔ آبریز شهداد است که با نتایج تحقیق فتحی‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) که معتقد است معیار سنگ‌شناسی دارای بیشترین اهمیت نسبی و ارجحیت زیاد برای پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در منطقهٔ مهدی‌شهر استان سمنان است، مطابقت دارد [۲۴] و طول محور و عمق محور وزن‌دهی مساوی از خود نشان دادند یعنی دارای اهمیت یکسانی برای احداث سدهای زیرزمینی در این مناطق هستند. وضعیت زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی مناطق کویری با توجه به شرایط خاصی که وجود دارد در احداث سدهای زیرزمینی نقش تعیین‌کننده دارد و حتی در صورت وجود شرایط نامناسب سنگ‌شناسی می‌تواند احداث سد زیرزمینی را متوقف کند (شکل ۵). در معیار اقتصادی.اجتماعی در نرم‌افزار Expert Choice، کمیت نیاز آبی دارای وزن ۰/۴۵۹ و تأثیر بر منابع آبی دارای وزن ۰/۲۱۵ و میزان دسترسی به سد زیرزمینی دارای وزن ۰/۳۲۶ است. بنابراین کمیت نیاز آبی دارای بیشترین وزن و اهمیت در احداث سدهای زیر زمینی در حوضهٔ آبریز شهداد است که با نتایج تحقیق احمدی و همکاران (۲۰۱۶) که معتقد است حجم نیاز آبی به عنوان بیشترین معیار کشاورزی در احداث مکان مناسب احداث آب‌بندان در دشت شمال شهر گرگان است، مطابقت دارد [۲۳] و تأثیر بر منابع آبی دارای کمترین وزن و اهمیت در احداث سدهای زیرزمینی در منطقهٔ مورد

مطالعه است. یکی از مشکلات مهم در احداث سدهای زیرزمینی، تعیین دقیق وزن‌دهی معیار اقتصادی.اجتماعی در منطقهٔ مورد مطالعه است. اگر معیار اقتصادی.اجتماعی در احداث سدهای زیرزمینی در نظر گرفته نشود یا کم‌اهمیت جلوه داده شود می‌تواند کارایی سدهای زیرزمینی احداث‌شده را تحت تأثیر قرار دهد (شکل ۶). نتایج تحقیق نشان داد از نظر معیار آب در حوضهٔ آبریز شهداد و با استفاده از قضاوت شفاهی و نظرات کارشناسی و مقایسهٔ دودویی، حوضهٔ آبریز کهنوج شاه دارای وزن ۰/۴۵، حوضهٔ آبریز کهنوج شاه دارای وزن ۰/۳۱۴، حوضهٔ آبریز کشیت دارای وزن ۰/۱۴۵ و حوضهٔ آبریز پشوئیه دارای وزن ۰/۰۹۳ در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. بنابراین معیار آب در حوضهٔ آبریز سامون جهر دارای بیشترین اهمیت در احداث سد زیرزمینی است و معیار آب در حوضهٔ آبریز پشوئیه کمترین اهمیت در احداث سد زیرزمینی دارد (جدول ۲۴). نتایج تحقیق نشان داد از نظر کمیت مخزن در حوضهٔ آبریز شهداد و با استفاده از قضاوت شفاهی و نظرات کارشناسی و مقایسهٔ دودویی، حوضهٔ آبریز سامون جهر دارای وزن ۰/۵۳، حوضهٔ آبریز کهنوج شاه دارای وزن ۰/۲۷۶، حوضهٔ آبریز کشیت دارای وزن ۰/۱۴۰ و حوضهٔ آبریز پشوئیه دارای وزن ۰/۰۵۷ در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. بنابراین کمیت مخزن در حوضهٔ آبریز سامون جهر دارای بیشترین اهمیت در احداث سد زیرزمینی است و کمیت مخزن در حوضهٔ آبریز پشوئیه دارای کمترین اهمیت در احداث سد زیرزمینی است (جدول ۲۵). نتایج تحقیق نشان داد از نظر کمیت محور در حوضهٔ آبریز شهداد و با استفاده از قضاوت شفاهی و نظرات کارشناسی و مقایسهٔ دودویی، حوضهٔ آبریز سامون جهر دارای وزن ۰/۵۲، حوضهٔ آبریز کهنوج شاه دارای وزن ۰/۲۰۵، حوضهٔ آبریز کشیت دارای وزن ۰/۱۶۶ و حوضهٔ آبریز پشوئیه دارای وزن ۰/۱۱ در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. بنابراین کمیت محور در حوضهٔ آبریز سامون جهر دارای بیشترین اهمیت در احداث سد زیرزمینی است و کمیت محور در حوضهٔ آبریز پشوئیه دارای کمترین اهمیت در احداث سد زیرزمینی است (جدول ۲۶). نتایج تحقیق نشان داد از نظر کمیت اقتصادی - اجتماعی در حوضهٔ آبریز شهداد و با استفاده از قضاوت شفاهی و نظرات کارشناسی و مقایسهٔ دودویی، حوضهٔ آبریز سامون جهر دارای وزن ۰/۴۸۲، حوضهٔ آبریز کهنوج شاه دارای وزن ۰/۲۹۰، حوضهٔ آبریز کشیت دارای وزن ۰/۱۵۰ و حوضهٔ آبریز پشوئیه دارای وزن ۰/۰۷۵ در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. بنابراین کمیت اقتصادی - اجتماعی در حوضهٔ آبریز سامون جهر دارای بیشترین اهمیت در احداث سد زیرزمینی است و کمیت اقتصادی - اجتماعی در حوضهٔ آبریز پشوئیه دارای کمترین اهمیت در احداث سد زیرزمینی است (جدول ۲۷). به طور کلی در حوضهٔ آبریز شهداد در نرم‌افزار Expert Choice، معیار آب دارای وزن ۰/۶۱۲ و معیار اقتصادی - اجتماعی دارای وزن ۰/۲۳۸ و معیار مخزن دارای وزن ۰/۰۸۱ و معیار محور دارای وزن ۰/۰۷۰ در احداث سدهای زیرزمینی هستند. بنابراین معیار آب دارای بیشترین وزن‌دهی و اهمیت در احداث سدهای زیرزمینی حوضهٔ آبریز شهداد است و معیار محور دارای کمترین وزن‌دهی و اهمیت در احداث سدهای زیرزمینی در منطقهٔ مورد مطالعه است (شکل ۷). سپس با توجه به اولویت‌بندی همهٔ معیارهای مورد مطالعه، حوضه‌های آبریز مناسب با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice وزن‌دهی شد که در نهایت حوضهٔ آبریز کشیت با وزن ۰/۵۷۳، بالاترین اولویت را از بین حوضه‌های آبریز مورد مطالعه برای احداث سد زیرزمینی به خود اختصاص داد که علت آن این است که اراضی منتهی به محل پیشنهادی سد زیرزمینی عمدتاً متشکل از آبرفت‌های رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی است که این اراضی نسبتاً مسطح و در بعضی نواحی همراه با پستی و بلندی‌های کم است. درضمن، این اراضی متشکل از خاک‌های نیمه‌عمیق تا عمیق و بافت متغیر و از سبک تا سنگین هستند. خاک‌های این اراضی بدون سنگریزه تا میزان سنگریزه در حد متوسط هستند. در ضمن، اگر چه بخش شرقی و میانی حوضهٔ آبریز کشیت را واحدهای جوان دوران سنوزوئیک پوشانیده اما غرب و شمال غرب حوضه توسط

واحدهای سنگی دوران‌های مزوزوئیک پوشیده شده است. در ضمن، این منطقه از نظر تکتونیکی بسیار فعال و پیچیده است و عامل تکتونیک تأثیر بسزایی در ایجاد شکل کنونی حوضهٔ مورد مطالعه داشته است. در ضمن، در بالادست محور پیشنهادی سد زیرزمینی کشیت در فاصلهٔ حدود ۸ کیلومتری غرب، چین خوردگی‌هایی به صورت یک ناودیس و سپس یک تاقدیس مشاهده می‌شود. درزه‌ها و شکستگی‌های فراوانی در واحدهای سنگی منطقهٔ کشیت دیده می‌شود که می‌توان آن‌ها را از دیدگاه‌های مختلف بررسی کرده و تقسیم‌بندی کرد بیشترین درزه‌های موجود در سنگ‌ها از منشأ تکتونیکی بوده و با چین خوردگی و گسلش در ارتباط است که این امر با توجه به نزدیکی ساختگاه سد با گسل شهداد کاملاً قابل انتظار است. در ضمن، واحدهای سنگی ساختگاه سد زیرزمینی شامل توالی از لایه‌های یک تا چند متری کنگلومرا، مارن، سیلتستون و ماسه‌سنگ هستند که تغییرات عرضی به‌وفور مشاهده می‌شود. کنگلومرای موجود عمدتاً دارای ماتریکس رسی و سیلتی بوده، در نتیجه کنگلومرای گلی تشکیل شده است به نظر می‌رسد به دلیل عوامل تکتونیکی و در نتیجه تغییرات ایجادشده در کف حوضهٔ رسوبی که از نوع دریاچه‌ای بوده شرایط محیط به‌وفور تغییر کرده و تغییرات جانبی در فواصل کوتاه را باعث شده است. آبرفت‌های رودخانه‌ای موجود در بستر رودخانهٔ کشیت عموماً شامل قلوه سنگ و شن و ماسه بوده و به دلیل عملیات شست‌وشوی آب دارای حداقل میزان رس و سیلت هستند. سپس حوضهٔ آبریز پشوئیه با وزن ۰/۲۰۲، دومین اولویت برای احداث سد زیرزمینی، بعد از آن حوضهٔ آبریز سامون جهر با وزن ۰/۱۸۳ سومین اولویت را به خود اختصاص داد و در نهایت حوضهٔ آبریز کهنوج شاه با ۰/۰۴۲ کمترین اولویت را برای احداث سد زیرزمینی داشته است (شکل ۸). روش سلسله مراتبی از جامع‌ترین مدل‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است. در فرایند تصمیم‌گیری اولین قدم شناسایی کامل سیستم یا محیط مورد بررسی به منظور شناخت مشکل یا مشکلات موجود در آن سیستم و همچنین پی بردن به فرصت‌های احتمالی جهت عملکرد بهتر سیستم است [۹]. بنابراین این مهم برای احداث سدهای زیرزمینی در حوضه‌های آبریز مناطق کویری به‌خصوص حوضهٔ آبریز شهداد به‌خوبی نشان داده شد و بیان شد که در انتخاب مکان‌یابی مناسب سدهای زیرزمینی در حوضه‌های آبریز مختلف نیز فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی می‌تواند کارایی مناسبی داشته باشد. بنابراین روش کار این پروژه قابل تعمیم به سایر مناطق است و همچنین مسیری روشن برای مدیریت مناسب آب‌های زیرزمینی در مناطق کویری است.

نتیجه‌گیری

احداث سدهای زیرزمینی نیاز به مطالعات جامع و دقیق در ارتباط با جریان‌های زیرقشری دارد که بدون انجام این مطالعات سد زیرزمینی کارایی خود را از دست می‌دهند. بنابراین ضروری است جریان‌های زیرقشری در مناطق مختلف به‌خصوص مناطق کویری با استفاده از روش‌های مختلف روز دنیا به طور دقیق ارزیابی شوند سپس به احداث سد زیرزمینی پرداخته شود. بر پایهٔ یافته‌ها در حوضهٔ آبریز شهداد، معیار آب دارای بیشترین وزن و اهمیت در احداث سدهای زیرزمینی حوضهٔ آبریز شهداد است و معیار محور دارای کمترین اهمیت است. به طور کلی، نتایج نشان داد حوضهٔ آبریز کشیت با وزن ۰/۵۷۳، بیشترین اولویت را از بین حوضهٔ آبریز مورد مطالعه برای احداث سد زیرزمینی به خود اختصاص داد. سپس حوضهٔ آبریز پشوئیه با وزن ۰/۲۰۲، دومین اولویت برای احداث سد زیرزمینی، بعد از آن حوضهٔ آبریز سامون جهر با وزن ۰/۱۸۳ سومین اولویت را به خود اختصاص داد و در نهایت حوضهٔ آبریز کهنوج شاه با ۰/۰۴۲ کمترین اولویت را برای احداث سد زیرزمینی داشته است. نتایج تحقیق همچنین نشان داد با توجه به اینکه روش سلسله‌مراتبی یکی از مدل‌های جامع طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است

می‌تواند کارایی مؤثر و مفیدی برای شناسایی مکان‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی به‌خصوص در مناطق کویری داشته باشد.

منابع

[1] Afkar M, Lashkaripour GH, Ghafouri M, Tabatabaei Yazdi J, Ardalanzadeh A. Using satellite images to select suitable sites for construction of underground dam (Case study: South Khorasan province). 14th Symposium of Geological Society of Iran, Urmia University. 2010. [Persian].

[2] Ahmadi H, Heshmatpour A, Seyedian M, Komaki C. Analytic Hierarchy Process for Determining the Relative Importance of Multiple Criteria in Selecting the Location of water spreading (Case Study: Gorgan City). First National Conference on Water Management with Optimal Water Use Approach in Agricultural Sector. 2016. Pp:1-12. [Persian].

[3] Alizadeh A. (2007). Applied Hydrology, Astan Quds Razavi Publications, Mashhad. 2007. [Persian].

[4] Arab Khazaeli A, Heshmatpour A, Sayedian M, Chazgi J. (2019). Prioritizing Suitable Location of the Underground Dam Construction Using AHP in Kajbid-Balaqly Watershed Garmeh city, Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 2019;2(3): 338-353. [Persian].

[5] Bear J, Cheng AHD, Sorek S, Ouazar D, Herrera I. Seawater intrusion in coastal aquifers-concepts, methods and practices. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 2000.

[6] Fathizad H, Alipour H, Hashemi Nasab N, Karimi H. (2016). Potential Detection of Groundwater through Analytical Hierarchy Process Using Remote Sensing and Geographic Information System in Mehdishahr Basin. Hydrogeomorphology. 2016;8(4): 1-20. [Persian].

[7] Ghodsipour SH. Analytic Hierarchy Process (AHP), 5th Edition, Amirkabir University of Technology. 2006. [Persian].

[8] Golmayi H, Ashtiani-Moghaddam Q. (2005). Underground Dams for Water Storage in Small Scale. 2005. 97 Pp. [Persian].

[9] Habibzadeh A, Hosseinpour A, Soleimanzadeh S. Feasibility study and construction of an underground dam in the Daryan watershed (Case Study Mashnaqchy Underground Dam). Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems. 2020;8(25): 53-65.

[10] Haj Seyed Alikhani N, Saeediyan H, Abkar A. Investigating the sensitivity of geoelectric method in suitable locating of underground dams in desert areas (Case study: Samon Jahr watershed in Kerman province). Iranian Journal of Irrigation and Water. 2024;14(54): 181-196. [Persian].

[11] Hasani A, Hasani H, Shirkhani H. Underground dam building methods. 1st National conference on drainage and sustainable agriculture, Tehran, Iran. 2013. [Persian].

[12] Kheirkhah Zarkesh M. DSS for floodwater site selection in Iran, PhD Thesis, Wageningen University, pp. 273. ISBN: 90-8504-256-9.the Netherland.2005.

[13] Mahmoudi N. Location of Suitable Areas for Rainwater Storage (Case Study: Senged Tree Catchment Basin), 1st National Conference on Rainwater Catchment Systems. 13-14 December, Mashhad, Iran. 2012. [Persian].

[14] Minciardi R, Robba M, Roberta S. Decision models for sustainable groundwater planning and control. Journal of control Engineering Practice. 2007;15(8): 1013-1029.

[15] Nosrati K, Rajabi Eslami A, Sayadi M. (2018). The Analysis and Classification of Water Quality Using a Multivariate Static Technique in the City of Mallard, Tehran. Hydrogeomorphology.

2018;15(5): 171-190. [Persian].
[16] Raju NJ. Reddy TVK, Mmunirathnam P. Subsurface dams toharvest rainwater-a case study of the Swarnamukhi River basin. Southern India. Hydrology Journal. 2006;14(4): 526-531.
[17] Saaty T. Decision Making for Leaders.RWS Publication, Pittsburgh, USA. 1992.
[18] Saberi A, Rangzan K, Mahjoori R, Keshavarzi M. Potential Detection of Groundwater Resources by Combining Remote Sensing and GIS by Analytic Hierarchy Process (AHP) in the Kamestan Anticline of KhuzestanProvince. Journal of Advanced Applied Geology. 2012;6:11-20. [Persian].
[19] Sharifi MA, Retsios V. Site Selection for Waste Disposal through SpatialMultiCriteria Decision Analysis, International conferenceon Decision Support for Telecomunications and Information Society, Sep, Warsaw, Poland.2003.
[20] Soori M, Jafari M, Azarnivand H, Ghodousi J, Farahpour M. Locating the Implementation of Stone-Cement Dam and Gabioni Dam Projects Using Analytical Hierarchy Process in Geographic Information System Environment (Case Study: Kermanshah Province), Watershed Mangement Research (Research and Construction). 2012; 97: 91-83. [Persian].
[21] Telmer K, Best M. Underground Dams: A Practical Solution for the Water Needs of Small Communities in Semi-Arid Regions, School of Earth and Oceans Sciences, University of Victoria. 2004. 6 pp.
[22] Zahedi A, Talebi A, Lesani MT. Haji Abolghasemi, R. Determination and prioritization of areas prone to underground dam construction using AHP model emphasizing on drought and water demand compensation (Case study: Gazdar Drongar). 9th National Conference of Watershed Management. Yazd University. 2013. [Persian].
[23] Zeleney M. Multiple criteria decision making. New York: McGraw-Hill. 1982.
[24] Saaty TL. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory. 2nd ed. Pittsburgh, PA: RWS Publications. Pp.11. 2000.