هیدروژئولوژی، سال سوم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۷
Hydrogeology, Volume 3, No. 1, Summer 2018

مکان‌یابی و رتبه‌بندی محل احداث سد زیرزمینی با توسعه سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری(DSS) (مطالعه موردی: حوضه‌های دریان و هریس شبستر)

سیف‌الله خدادادی*[۱]، محمد همتی[۲]

چکیده

توسعه و مدیریت اصولی منابع آب به دلیل توزیع مکانی و زمانی نامناسب آن در نقاط مختلف جهان، بخصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران امری ضروری است. در این راستا، مکان‌یابی و احداث سدهای زیرزمینی یک راهکار مدیریتی است که با ذخیره جریانات زیرسطحی سبب احیاء و توسعه این منابع و تأمین نیازمندی‌های آب می‌شود. این تحقیق با توسعه یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری طی سه مرحله، به مکان‌یابی محل این نوع سدها در منطقه شبستر (شمال‌شرق ارومیه) می‌پردازد. ابتدا با تعریف معیارهای حذفی، مناطق نامناسب شناسایی و از کل منطقه کسر شد سپس در محدوده‌های پتانسیل‌دار اولیه، محل تنگه‌ها و خروجی زهکش آبراهه‌ها (۵۳ محور در ۸ قسمت) تعیین و بهترین محور هر قسمت انتخاب شد. نهایتاً با تعریف معیارها و زیر معیارها در قالب ساختار درختی، محورهای انتخابی(۸ محور)، به صورت سلسله مراتبی تحلیل شد و با توجه به شاخص تناسب نهایی اولویت‌بندی شدند که محور سوم واقع در آبراهه فصلی مشنق‌چای با شاخص تناسب ۰/۲۹۹ در اولویت اول قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، سد زیرزمینی، مکان‌یابی، سامانه اطلاعات جغرافیایی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۰۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۲

۱- دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه ارومیه
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه
*_ نویسنده مسئول

Site Selection and Prioritizing the Subsurface Dam Construction Axis Using Decision Support System (DSS), (Case Study: Daryan and Heris Catchments)

Seifollah Khodadadi*[1], Mohammad Hemmati [2]

Abstract

Due to world's water resources ubdesirable distribution both temporaly and spatialy development and management of these resources in arid and semi-arid regions such as Iran are necessary. In this way, site selection and construction of subsurface dam are managerial solutions that obstruct and storage the underground flow to water supply during dry seasons. In this study, a decision support system was developed in three steps to find the suitable sites of subsurface dam construction in Shabestar region. Firstly inappropriate areas were eliminated using omissive criteria and potentially suitable areas were identified, then straits and outlet points of axis in suitable areaswere specified as dam axes sites (53 axes in 8 stream) and the best axis of each stream was selected. Finally, a tree structure form of main criteria and their sub-criteria were defined to evaluate and prioritize the 8 selected axes using Analytical Hierarchy Process (AHP) and computing Final Suitability Index (F.S.I). Axis with high value of FSI are preferred to others. This third axis with suitability index of 0.299 located in Meshnagh-Chay seasonal stream was selected as the best site for subsurface dam construction.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, GIS, Multi Criteria Decision System, Site Selection.

Received: 2017/01/24
Accepted: 2018/06/02

1- Ph.D. of Irrigation and drainage, Urmia University, Urmia, Iran.
2- Assistant professor of water engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
*- Corresponding Autho: E-mail: s.khodadadi@urmia.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

ایران با داشتن حدود یک درصد جمعیت دنیا، تنها ۰/۳۶ درصد منابع آب تجدید شونده را در اختیار دارد که حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب، معادل ۳۰ درصد بارش سالانه می‌شود (صفوی، ۱۳۸۵). حدود ۷۰ درصد این منابع در نیمه غربی کشور (حوضه‌های آبریز خزر، ارومیه، کرخه و کارون) متمرکز بوده که تنها ۴۰ درصد آن در زمان مناسب در دسترس می‌باشد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳).

سدهای زیرزمینی به صورت پرده آب‌بند یا دیواره نفوذناپذیری در آبراهه‌های فصلی، از سطح زمین تا سنگ کف (لایه غیرقابل نفوذ هیدرولیکی) احداث شده و جریان آب زیرسطحی کم‌عمق را در مخزن آبرفتی پشت دیواره ذخیره می‌کند (نیلسون، ۱۹۸۸). این سدها در مناطق ساحلی و جزایر با هدف جلوگیری از پیشروی و تداخل آب شور با آب شیرین آبخوان نیز ساخته می‌شود. هزینه ساخت و میزان تبخیر این سدها پایین بوده، سبب تغییر کاربری اراضی و اکوسیستم منطقه نمی‌شود؛ لذا از نظر زیست محیطی هم کم‌خطر می‌باشد (تملر و بست، ۲۰۰۴). مهم‌ترین بخش این سدها، تعیین مکان مناسب محور است چرا که معیارهای فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی زیادی در انتخاب آن دخیل است.

در این زمینه نیلسون (۱۹۸۸) ضمن بیان تجارب ساخت سد زیرزمینی در نقاط مختلف جهان، شرایط کلی لازم برای محل آن را ذکر کرده است. فوستر و تانیهوف (۲۰۰۲) با بررسی سدهای زیرزمینی برزیل و کنیا، مطالعه پارامترهای حجم مخزن، عمق سنگ کف، نفوذپذیری و کیفیت شیمیایی خاک مخزن را ضروری بیان کردند. تملر و بست (۲۰۰۴) در شمال‌شرق برزیل از روی شرایط توپوگرافی، ضخامت آبرفت، نوع رسوبات و تخلخل به مکان‌یابی سد زیرزمینی پرداخته‌اند. هاشمی (۱۳۸۱) برای مکان‌یابی سد زیرزمینی حوضه علیقلی سمنان، پارامترهای شیب و مساحت حوضه، میزان رواناب و عرض آبراهه، ضخامت و بافت رسوبات را مطالعه کرده است. اساس مطالعه ایشان عمدتاً تجربیات محلی، بازدیدهای صحرایی، حفاری و بررسی چاه‌های گمانه بوده است. توانایی منحصربه‌فرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در جمع‌آوری، ذخیره، مدیریت و تلفیق اطلاعات موجب سهولت، سرعت کار و همچنین کاهش قابل ملاحظه هزینه‌ها می‌شود. در خارتون سودان از تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای و GIS استفاده شد (حسن محمود و همکاران، ۲۰۰۷).

خیرخواه زرکش و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی[1] به اولویت‌بندی مکان احداث سدهای زیرزمینی پرداختند که در این روش از معیارهای نفوذپذیری سطح، شیب، عمق مخزن و کمیت و کیفیت آب استفاده شده است. عشقی زاده و نورا (۱۳۸۹) محل مناسب احداث سد زیرزمینی بر روی قنات دهن چنار حوزه آبخیز کلات شهرستان گناباد را تعیین کرده‌اند.

حاجی عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به دو روش مکانی و غیر مکانی با در نظر گرفتن معیارهای فنی، زیست محیطی و اقتصادی- اجتماعی به بررسی تعیین محل مناسب سد زیرزمینی در حوضه پیشکوه شهرستان تفت استان کرمان پرداختند. میشارا و همکاران (۲۰۱۵) از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تعیین مکان مناسب برای کشاورزی ارگانیک در منطقه اوتارخان هندوستان استفاده کردند. میناتور و همکاران (۲۰۱۲) از ۱۶ معیار مؤثر برای تعیین محل مناسب سدهای زیرزمینی در حوضه آبخیز هرسین کرمانشاه استفاده نمودند.

میرزایی و همکاران (۱۳۹۴) مدیریت آب سدهای زیرزمینی حوضه راور کرمان بر پایه شبیه‌سازی عددی را مطالعه کردند. آمانی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از معیارهای حذفی و تحلیل سلسله مراتبی به مکان‌یابی سدهای کوتاه خاکی در حوضه کال‌آجی استان گلستان پرداخته‌اند.

[1] Analytical Hierarchy Process (AHP)

Archive of SID

www.SID.ir

خرازی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در حوضه دشت کویر پرداختند و گزارش دادند که مناطق جنوبی دشت دارای پتانسیل خوبی برای احداث سدهای زیرزمینی می‌باشد.

کردی و همکاران (۱۳۹۵) حدود ۱۴ منطقه مناسب را برای احداث سدهای زیرزمینی در منطقه مهران استان ایلام تعیین کردند. وجود معیارهای مختلف با مقیاس‌های متفاوت و همچنین اختلاف در ارزش نسبی هر معیار نسبت به سایر معیارها، ماهیت مسأله را به یک تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی تبدیل می‌کند. توسعه یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری[1] و استفاده از فرایند سلسله مراتبی، روش مناسبی برای تحلیل و ارزیابی تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در مطالعات سلامی (۱۳۸۵) در نطنز اصفهان استفاده شده است.

نکاتی در مطالعات قبلی در خصوص تهیه نقشه‌های فاصله و شیب طولی آبراهه‌ها مورد غفلت واقع شده که تحقیق پیش رو ضمن رعایت آن‌ها، با توسعه DSS و به‌کارگیری تکنیک‌های GIS و AHP به مطالعه موردی می‌پردازد. علاوه بر آن بهره‌برداری اصولی و مدیریتی از سفره‌های زیرزمینی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله شبستر که اقلیم خشکی دارد و ۹۰ درصد آب آن نیاز بخش کشاورزی است، ضروری می‌باشد. در این راستا طراحی و ساخت سدهای زیرزمینی، گام مهمی در تغذیه سفره آب زیرزمینی، احیاء و توسعه منابع آبی، کاهش نوسانات فصلی سطح آب زیرزمینی و تأمین آب است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، حوضه‌های دریان و هریس شبستر می‌باشد که در مختصات ۴۲۲۰۰۰۰ تا ۴۲۴۴۰۰۰ عرض شمالی و ۵۳۳۰۰۰ تا ۵۶۰۰۰۰ طول شرقی به مساحت ۴۰۰ کیلومترمربع قرار دارد.

در انتخاب مکان مناسب احداث سد زیرزمینی عوامل زیادی مؤثرند که بعضی از آن‌ها مثل اثرات اجتماعی و زیست محیطی به صورت کیفی بوده و برخی دیگر مثل حجم آب و هزینه به صورت کمی هستند.

همه عوامل کمی دارای یک مقیاس نیستند و حتی مقادیر مختلف یک معیار کمی (مثل شیب) از درجات اهمیت متفاوتی برخوردار است. همچنین میزان اهمیت و وزن هر معیار در تصمیم‌گیری متفاوت می‌باشد. بنابراین ماهیت مسأله، تصمیم-گیری چند معیار همگانی است که تا حدودی مشکل و پیچیده می‌باشد.

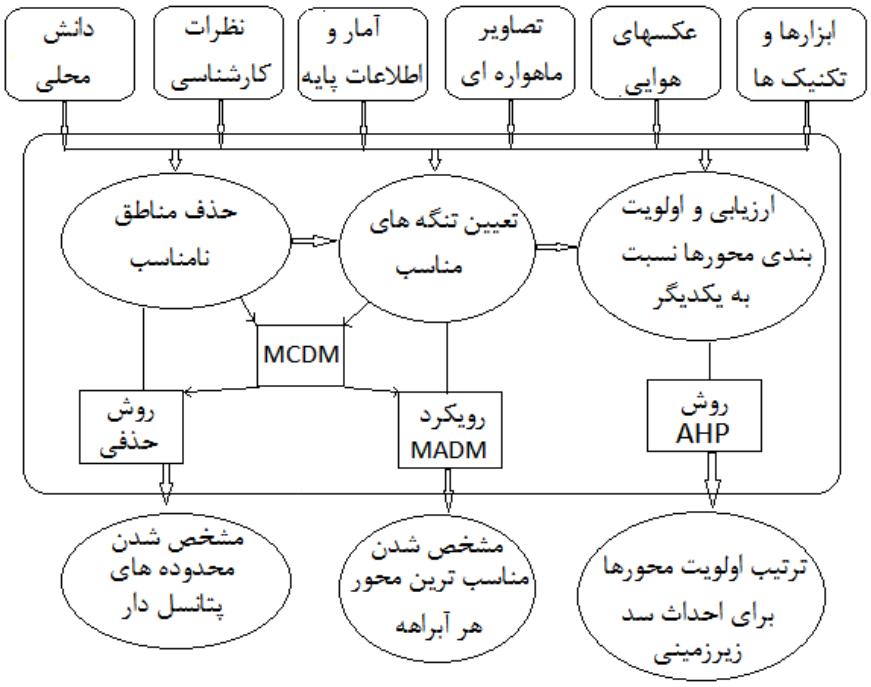
برای حل مسأله و رسیدن به هدف نهایی (مکان‌یابی)، یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری توسعه داده شده است. این سیستم‌ها حالت تعامل یا تبادل اطلاعات بین کاربر و کامپیوتر داشته و برای حل مشکلات با ساختار مشخص و تا حدودی ناشناخته استفاده می‌شوند.

سیستم اطلاعاتی مدیریت اجرایی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فرایندهای پردازش آنلاین یا نرم‌افزارهای عاملی، همگی سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری هستند (سلامی، ۱۳۸۵).DSS مثل هر سیستم دیگر دارای بخش ورودی، پردازش و خروجی است.

در این تحقیق اطلاعات ورودی سیستم از منابع دانش محلی، نظرات کارشناسی، آمار و اطلاعات پایه مثل نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به همراه تکنیک‌ها و ابزارها بوده که طی سه مرحله پردازش به نتیجه نهایی مکان‌یابی و اولویت‌بندی محورهای احداث سد زیرزمینی می‌رسد. ساختار سیستم در شکل ۱ ارائه شده است.

[1]Decision Support System (DSS)

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۱- ساختار DSS برای مکان‌یابی محور سد زیرزمینی.

در مرحله اول با توجه به نتایج مطالعات قبلی و دستورالعمل‌های ارائه شده در خصوص شرایط لازم برای تعیین محل احداث سد، مناطق نامناسب (فورزیری و همکاران، ۲۰۰۸) با تعریف معیارهای حذفی از کل منطقه کسر شد تا محدوده‌های دارای پتانسیل اولیه احداث سد زیرزمینی مشخص گردد. این معیارها شامل اراضی زیرکشت کشاورزی، پهنه‌های آبی، مناطق مسکونی، حریم قنوات و خطوط گسل، ارتفاعات و دامنه‌های با شیب بیشتر از ۶ درصد، آبراهه‌های دائمی و پادگانه‌های آبرفتی بود. در مرحله دوم محل مناسب‌ترین محورها در عرض آبراهه‌های فصلی واقع در محدوده‌های پتانسیل‌دار مشخص می‌گردد.

بدیهی است محل تنگ‌شدگی آبراهه‌ها و خروجی زهکش آبراهه‌ها به جهت وجود باریکه و کاهش هزینه می‌تواند محل‌های پیشنهادی برای مطالعات بیشتر و مفصل‌تر باشد.

به عبارتی دیگر، بعد از مشخص شدن محدوده‌های پتانسیل دار مرحله اول، مقاطعی از آبراهه که تنگه هستند به دلیل هزینه پایین‌تر اجرای دیواره آب‌بند جهت مطالعات تفصیلی انتخاب و معیارهای فنی‌تر و دقیق‌تر روی آن‌ها مطالعه می‌شود. در مجموع ۵۳ محور در ۸ قسمت مشخص شد. سپس با رویکرد تصمیم‌گیری چند گزینه‌ای[1] محورهای هر قسمت بر مبنای معیارهای حجم بدنه (عمق، طول و عرض سد) و سطح مخزن ارزیابی شدند. مناسب‌ترین محور هر قسمت با حجم کار سازه‌ای کم (هزینه پایین) و سطح مخزن بیشتر انتخاب شد (۸ محور).

اگر چه نفوذپذیری سطحی و آبدهی ویژه نیز از اساسی‌ترین پارامترها می‌باشد، اما در این مرحله چون آبرفت بستر در طول یک آبراهه از فرسایش سازندهای یکسان بالادست و رسوب آن در پایین‌دست حاصل شده است لذا نفوذپذیری و آبدهی ویژه محورهای هر آبراهه ثابت فرض شده است. مرحله سوم، ارزیابی ۸ محور جهت اولویت‌بندی احداث است.

به این منظور سعی شد بررسی جامعی از عوامل مؤثر، به ترتیب از بالا تا پایین‌دست سد زیرزمینی در قالب ساختار درختی مطابق شکل ۲ تعریف و مطالعه شود. معیارهای اصلی شامل

[1]-Multi Attribute Decision Making (MADM)

Archive of SID
www.SID.ir

وضعیت آب زیرسطحی، مخزن، محور و مسائل اقتصادی- اجتماعی است.

زیرمعیارهای هر کدام در شکل ۲ مشخص می‌باشد. برای نمونه چون برآورد هندسه احجام زیرسطحی مشکل است، وضعیت مخزن با زیرمعیارهای شیب کف، ضخامت آبرفت، سطح گسترش و نفوذپذیری سطحی بررسی می‌شود و یا پیش‌بینی مسائل اقتصادی - اجتماعی احداث سد با مطالعه تأثیر آن روی منابع آبی موجود، سهولت امکان دسترسی به محل سد و نیاز آبی منطقه صورت گرفته است.

ممکن است در یک دشت شرایط لازم احداث سد، موجود باشد اما سکنه یا محل مصرفی برای آن موجود نباشد. اطلاعات مکانی و غیرمکانی لازم برای ارزیابی عوامل از نقشه‌ها و گزارش‌ها موجود، تکنیک‌های سنجش از دور و GIS و بازدید صحرایی تهیه شد. این عوامل با فرایند AHP که روشی برای وزن دهی به معیارهای مختلف کمی و کیفی در جریان تصمیم‌گیری چندمعیاره است، مورد مقایسه زوجی قرار گرفتند.

در این روش، هدف در بالاترین سطح، معیارها و زیرمعیارها در سطوح پایین و گزینه‌ها در پایین‌ترین سطح قرار دارند.

میزان اهمیت و ارجحیت عوامل هر سطح نسبت به هم بر مبنای دانش و نظرات کارشناسی، با مقایسه زوجی تعیین می‌شود. مقدار عددی ارجحیت هر یک از معیارها نسبت به هم از روی مطالعات مشابه قبلی از جمله سلامی (۱۳۸۵)، خیرخواه زرکش و همکاران (۱۳۸۷)، میناتور و همکاران (۲۰۱۲)، میرزایی و همکاران (۱۳۹۴) و نظرات کارشناسان آبخیزداری و زمین‌شناسی تعیین شد. سپس از جدول ۱ به مقدار کمی معادل اهمیت نظری تبدیل شده و وزن نسبی هر عامل محاسبه می‌شود.

جدول۱- مقیاس کمی مقایسات زوجی معیارها.

ارجحیت مساوی	اندکی ارجح	ارجحیت بیشتر	ارجحیت خیلی بیشتر	مطلقاً ارجح	حالت‌های میانه
۱	۳	۵	۷	۹	۲,۴,۶,۸

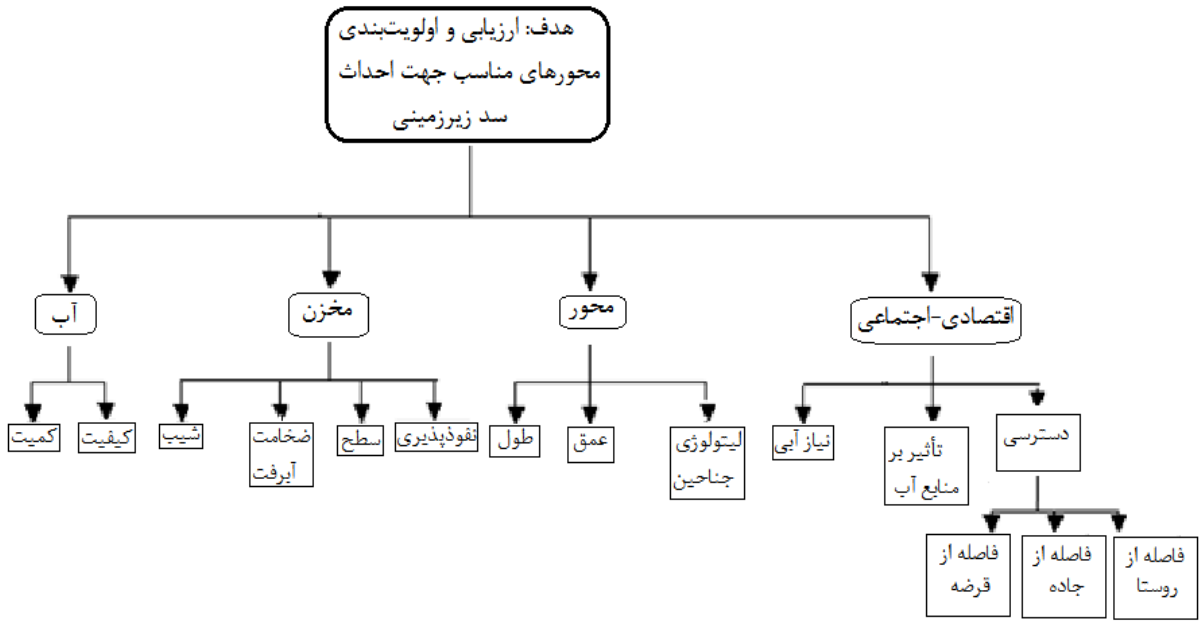
در این تحقیق از روش میانگین هندسی به دلیل سادگی و حفظ خاصیت معکوس‌پذیری قضاوت‌ها استفاده شد. پس از تعیین وزن نسبی عوامل ارزیابی، شاخص تناسب نهایی گزینه‌ها (۸ محور) از رابطه زیر محاسبه شد.

$$\text{شاخص تناسب نهایی} = W_n \times W_{n-1} \times \ldots \times W_2 \times 1$$

در این رابطه، Wi ماتریس وزن‌ها در سطح i ام است و چون در سطح اول هدف قرار دارد، وزن مربوطه برابر با یک می‌باشد. مقدار شاخص تناسب هر گزینه درواقع میزان مطلوبیت و ترتیب اولویت آن را مشخص می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- ساختار درختی عوامل ارزیابی و اولویت‌بندی محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی.

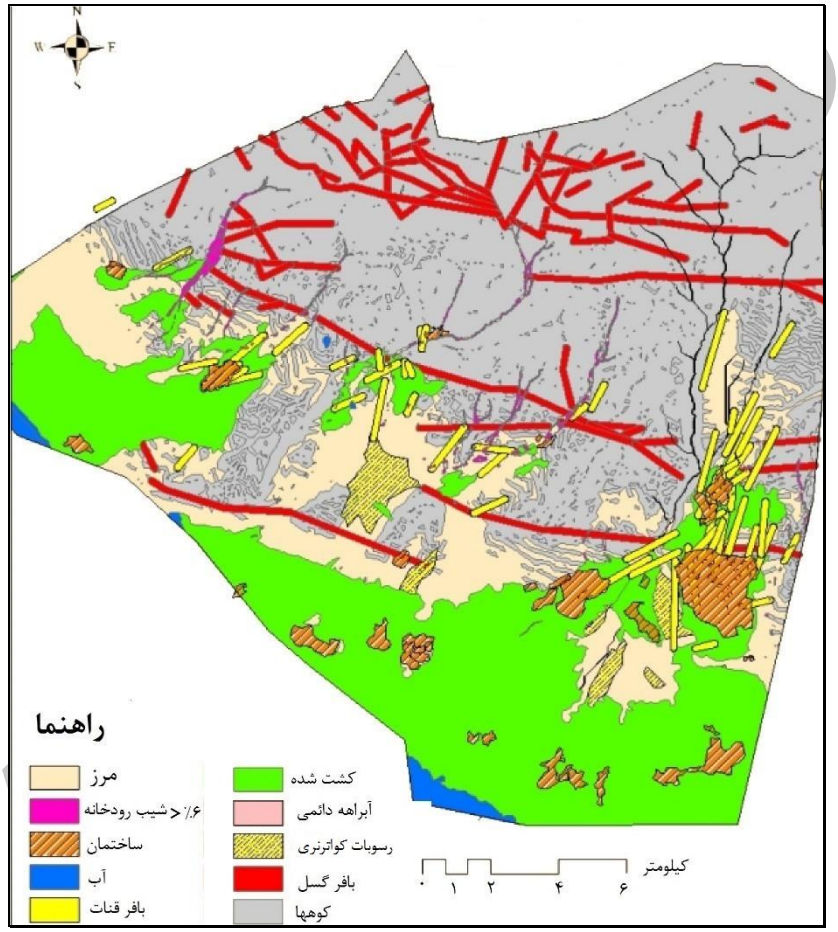
نتایج و بحث

محدوده‌های پتانسیل‌دار، بستر آبرفتی رودخانه‌های فصلی که شیب طولی مناسبی برای نفوذ جریانات فصلی و ایجاد حجم مخزن کافی دارند یا زمین‌های با کاربری مناسب که کوره قنات در آنجا وجود نداشته و از گسل‌ها به دور هستند را شامل می‌شود. از نظر زمین‌شناسی نیز لازم است یال‌های محور سد روی سازندهای نفوذپذیر که احتمال نشت و فرار آب پایین است، واقع نشود. این شرایط معمولاً در دشت‌های میانکوهی و مخروط‌افکنه‌ها برقرار است. بنابراین مناطق حذفی مرحله اول ارتفاعات و تپه‌ها، حریم قنوات، حریم خطوط گسل و خطواره‌ها، اراضی با کاربری‌های باغات و زراعی، مناطق مسکونی، مخازن آب، رودخانه‌های دائمی (دارای دبی پایه) و مسیرهایی از بستر رودخانه‌های فصلی با شیب طولی بالای ۶ درصد و نیز پادگانه‌های آبرفتی کهن بود که به صورت لایه‌های اطلاعاتی جداگانه تهیه گردید. نقشه تلفیق این معیارها مطابق شکل ۳ است. به عنوان نمونه برای بدست آوردن شیب طولی بستر آبراهه‌ها، معمولاً نقشه شیب از درون‌یابی خطوط کنتور تهیه می‌شود. این نقشه با دخالت دادن شیب تند جناحین بستر در عمل درون‌یابی، مقدار شیب را بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد. نتیجه نقشه‌برداری یک آبراهه فصلی و مقایسه آن با مقدار مربوطه نقشه شیب، این گفته را تأیید می‌کرد. سپس خطوط کنتور محدوده عرض آبراهه‌ها جدا شده و نقشه شیب تهیه شده و در پنج کلاس ۰-۲، ۲-۴، ۴-۶، ۶-۸ و بیشتر از ۸ درصد دسته‌بندی[1]شد که مقادیر شیب به دست آمده تنها در عرض آبراهه‌ها اعتبار دارد. نقشه حاصل به فرمت برداری تبدیل و کلاس‌های شیب طولی بالای ۶ درصد آن با پرسش-گری شرطی انتخاب و حذف شد. نتیجه این مرحله تعیین محدوده‌های پتانسیل‌دار اولیه در عرض آبراهه‌های فصلی بود که شکل ۴ آن را نشان می‌دهد. با تعیین تنگه آبراهه‌های فصلی در محدوده پتانسیل‌دار مطابق شکل ۵، محورهای پیشنهادی با رویکرد تصمیم‌گیری چند شاخصه[2] بر مبنای معیارهای حجم بدنه و سطح مخزن ارزیابی شدند. نمونه‌ای از محاسبات این

[1]-Reclassify
[2] Multiple Attribute Decision Making (MADM)

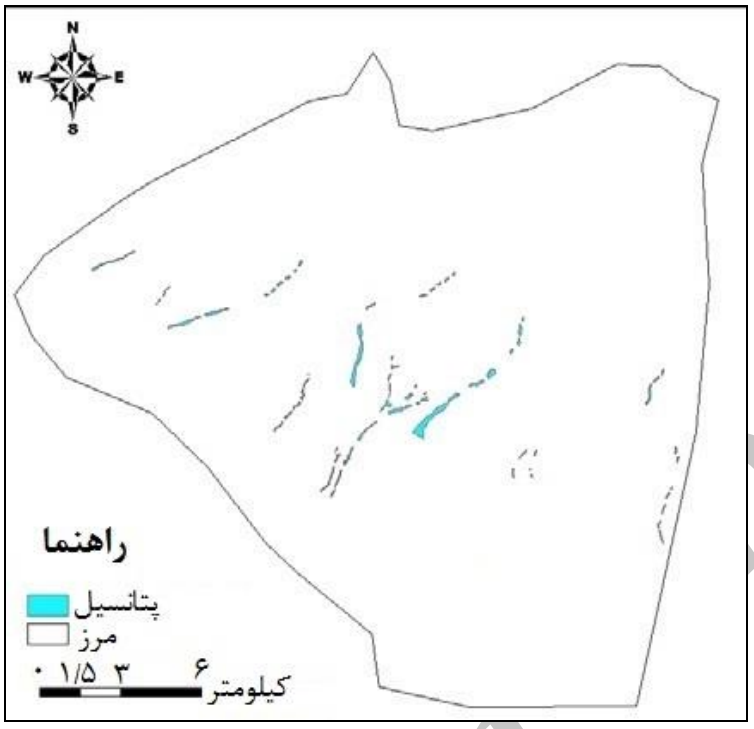
Archive of SID
www.SID.ir

مرحله برای آبراهه اول در جدول ۲ آمده است. در محاسبه حجم بدنه سد، فرض شده به دلیل نزدیکی محورهای یک آبراهه، از مصالح مشابهی در ساخت آن‌ها استفاده می‌شود. لذا عرض دیواره آب‌بند که بستگی به نوع مصالح دارد، برابر بوده و در محاسبات وارد نشده است. عمق سنگ کف در محل هر محور از درون‌یابی عمق مادر چاه قنوات محدوده و نتایج عملیات ژئوفیزیک صورت گرفته در یک قسمت از منطقه به دست آمده است. چون بیشترین هزینه سد زیرزمینی مربوط به هزینه ساخت دیواره آب‌بند است لذا اهمیت آن نسبت به معیار سطح مخزن دو برابر اعمال شده است. برای یکسان کردن مقیاس پارامترها نیز حالت بی‌بعد مقادیر (تقسیم عدد به مقدار حداکثر مربوطه در آبراهه) وارد محاسبه شده است. نتیجه این مرحله، تعیین بهترین محور هر آبراهه بود که در مجموع مقدار بیشتری داشت.

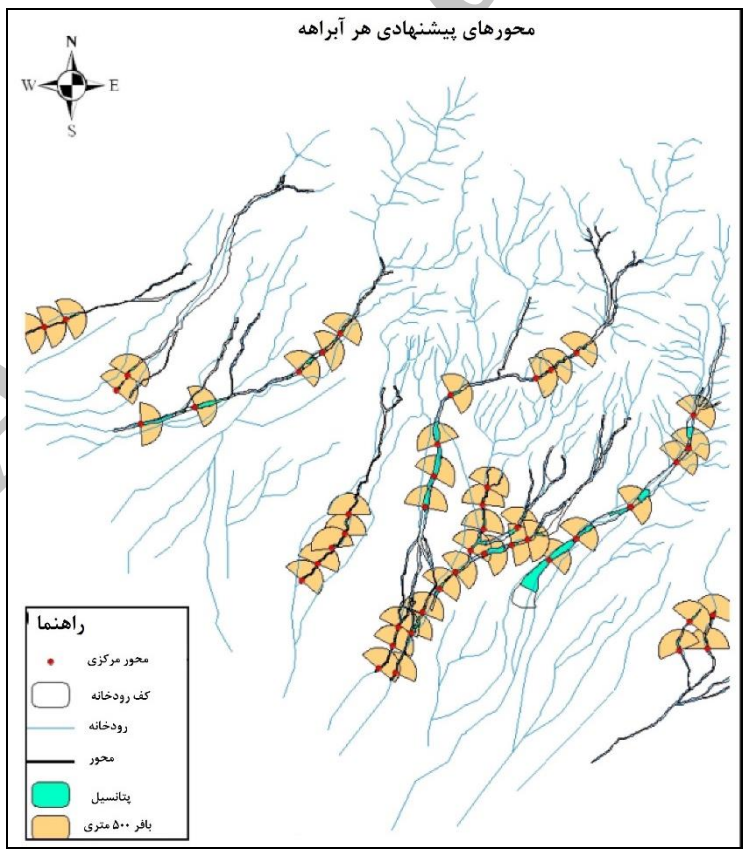


شکل ۳- نقشه مناطق نامناسب با معیارهای حذفی (مرحله اول).

www.SID.ir



شکل ۴- محدوده‌های با پتانسیل اولیه احداث سد.



شکل ۵- محل محورها در تنگه آبراهه‌های فصلی مستعد.

www.SID.ir

جدول ۲- محاسبات انتخاب بهترین محور هر آبراهه برای احداث سد زیرزمینی.

آبراهه	شماره محور	L(axis)	عمق سنگ کف D(m)	A(axis)=L×D	A(ax-stand)	a=1-A(ax-stand)	سطح مخزن $A_1(m^2)$	سطح مخزن استاندارد A_2	$2\times a+A_2$
۱	۱-۱	۴۰	۱۱/۵	۴۶۰	۰/۲۹۹	۰/۷۰۱	۱۷۷۵۰	۰/۵۵۱	۱/۹۵۳
۱	۱-۲	۳۱	۱۶/۵	۵۱۱/۵	۰/۳۳۲	۰/۶۶۸	۱۶۵۵۷	۰/۵۱۴	۱/۸۴۹
۱	۱-۳	۵۵	۲۸/۰	۱۵۴۰	۱	۰	۲۲۹۶۵	۰/۷۱۳	۰/۷۱۳
۱	۱-۴	۴۷	۱۶/۵	۷۷۵/۵	۰/۵۰۴	۰/۴۹۶	۹۷۰۰	۰/۳۰۱	۱/۲۹۴
۱	۱-۵	۳۰	۱۵/۰	۴۵۰	۰/۲۹۲	۰/۷۰۸	۷۳۷۴	۰/۲۲۹	۱/۶۴۴
۱	۱-۶	۳۰	۱۳/۰	۳۹۰	۰/۲۵۳	۰/۷۴۷	۷۵۰۳	۰/۲۳۳	۱/۷۲۶
۱	۱-۷	۴۴	۲۹/۰	۱۲۷۶	۰/۸۲۹	۰/۱۷۱	۳۲۲۳۰	۱	۱/۳۴۳

موقعیت ۸ محور انتخابی در شکل ۶ مشخص است. در مرحله سوم مطالعه، اولویت‌بندی محورهای مستعد جهت احداث سد زیرزمینی، با تحلیل و ارزیابی عوامل کمیت آب قابل استحصال و توزیع کیفی آن در محل هر سد، فاصله هر محور از منابع قرضه، جاده و مناطق مسکونی صورت گرفت. برای مثال شکل ۷، نقشه فاصله از منابع قرضه را نشان می‌دهد این نوع نقشه‌ها در مطالعات قبلی به روش خط مستقیم[1] تهیه شده و فاصله فضایی نقاط را در نظر گرفته‌اند که می‌بایست موانع توپولوژی مسیر نیز لحاظ شود. زیرا ممکن است فاصله فضایی کم باشد اما مسیر صعب‌العبور باشد یا برعکس.

برای این کار ابتدا نقشه مانع از تلفیق نقشه‌های رستری رده‌بندی شده کاربری اراضی و شیب تهیه و سپس نقشه فاصله به روش فاصله از نظر هزینه[2] تهیه شد. بدیهی است این نقشه به صورت دوایر متحدالمرکز نخواهد بود. نقشه‌ها بر مبنای نظرات کارشناسی افراد تصمیم‌گیر به کلاس‌های مختلف رده‌بندی و دو به دو با هم مقایسه شدند. زیر معیارها نیز با هم مقایسه شده و وزن نسبی آن‌ها به روش میانگین هندسی محاسبه شد.

جدول ۳ نمونه ماتریس مقایسات زوجی را برای مقادیر مختلف شیب ارائه می‌کند. مقادیر شیب‌های مختلف به‌صورت دو دویی مقایسه شده و با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی اهمیت وزن آن‌ها تعیین شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود شیب‌های کمتر به دلیل امکان ذخیره آب بیشتر پشت سد دارای وزن بیشتر است با افزایش شیب وزن زیرمعیار مربوطه نیز کم شده است. از آنجا که وزن معیارهای اصلی اثر تعیین کننده‌ای در ترتیب اولویت محورها دارد سناریوهای مختلفی از دیدگاه‌های متفاوت قابل بررسی است. مثلاً ممکن است در یک منطقه به منبع آب تکمیلی جهت شرب و کشاورزی نیاز باشد. در این سناریو معیار آب نسبت به سه معیار دیگر از اهمیت خاصی برخوردار است. محوری که حجم بیشتری از جریان زیرسطحی با کیفیت مناسب را تأمین کند، در اولویت قرار دارد. در سناریوی دوم دیدگاه مسئول طرح از احداث سد زیرزمینی، ایجاد مخزن و تغذیه آبخوان همسو با راهکارهایی مثل پخش سیلاب باشد، این در حالی است که شاید نیاز آبی یا مسئله اجتماعی خاصی در منطقه به صورت حاد مطرح نباشد، در این مورد نقش مخزن بارزتر است. در اراضی ساحلی و جزایر نیز مشکل پیشروی و تداخل آب شور وجود دارد که توجه به بعد سازه‌ای یا نقش دیواره آب‌بند به عنوان سناریوی سوم مطرح

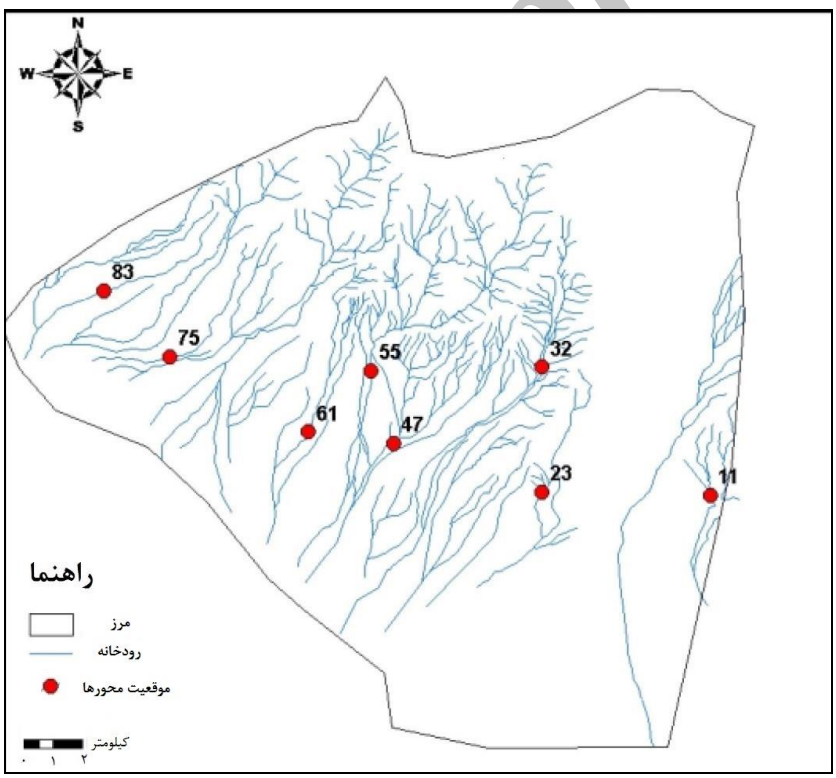
[1] Straight line
[2] Cost weighted distance

Archive of SID
www.SID.ir

است. در مناطق کویری و محروم نبود آب سبب افزایش بیکاری، مهاجرت و در مواردی موجب تنش‌های اجتماعی و سیاسی می‌شود، لذا سناریوی مسائل اجتماعی و اقتصادی، سایر ابعاد طرح را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما چون طبیعت یک محیط پیوسته و پویا است و معمولاً در مناطق خشک به نوعی همه این موارد مطرح است؛ لذا طرح در منطقه اجرا می‌شود تا با تأمین آب کافی در کیفیت مطلوب، سطح آبخوان را تغذیه نموده و ضمن جلوگیری از هجوم آب شور به چاه‌ها، بتواند در رونق کشاورزی، کاهش تنش‌های احتمالی یا مهاجرت مردم مؤثر واقع شود. با این دیدگاه اهمیت و وزن معیارهای اصلی برابر در نظر گرفته شده است. ماتریس مقایسات در این دیدگاه و وزن هر معیار مطابق جدول ۴ برابر با ۰/۲۵ خواهد بود. با مشخص شدن وزن عوامل و محاسبه شاخص تناسب نهایی، ترتیب اولویت محورهای مورد بررسی در احداث سد زیرزمینی مطابق جدول ۵ تعیین شد. در نهایت شاخص تناسب نهایی از رابطه ۱، ترتیب اولویت محورهای مستعد احداث سد زیرزمینی مطابق جدول ۵ بدست آمد.

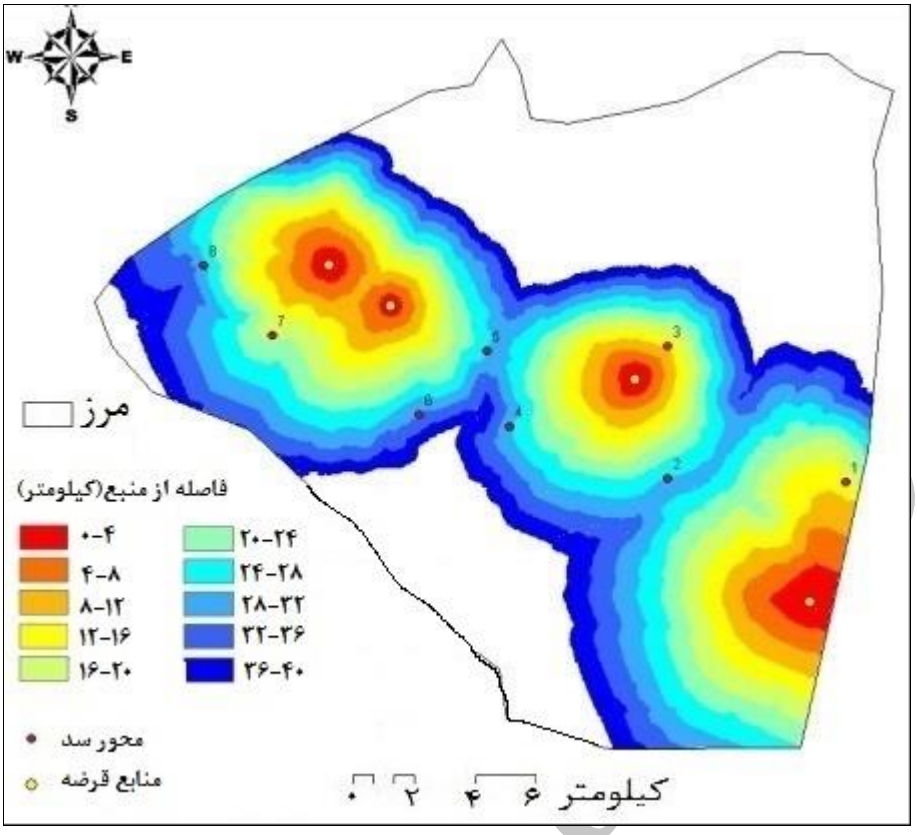
نتایج نشان می‌دهد محورهای سوم، پنجم و اول به ترتیب با مقادیر تناسب نهایی ۰/۲۹۹، ۰/۲۹۳ و ۰/۲۷۳ سه اولویت اول جهت ساخت سد زیرزمینی هستند که محور سوم در آبراهه فصلی مشنق‌چای واقع شده است.

اختلاف مقدار شاخص تناسب نهایی برای محورهای پنجم و اول با محور سوم به ترتیب در حدود ۲ و ۸/۷ درصد می‌باشد. محورهای ۷، ۲، ۸، ۶ و ۴ به ترتیب در اولویت‌های چهارم تا هشتم می‌باشند. محور چهارم با مقدار تناسب ۰/۱۴۴ در اولویت آخر ساخت بوده و در آبراهه فصلی هریس قرار گرفته است.



شکل ۶- موقعیت محورهای انتخابی (نتیجه مرحله دوم).

www.SID.ir



شکل ۷- نقشه فاصله از منابع قرضه موجود منطقه.

جدول۳- تعیین اهمیت و وزن کلاس‌های شیب کف مخزن سد.

شیب (٪)	۰-۲	۲-۴	۴-۶	میانگین هندسی	وزن
۰-۲	۱	۳	۵	۲/۴۶	**۰/۶۲**
۲-۴	۱/۳	۱	۴	۱/۱۰	**۰/۲۸**
۴-۶	۱/۵	۱/۴	۱	۰/۳۷	**۰/۱۰**

جدول۴- تعیین وزن نسبی معیارهای اصلی.

سناریوی اول	آب	مخزن	محور	اقتصادی-اجتماعی	میانگین هندسی	وزن
آب	۱	۱	۱	۱	۱/۰۰	**۰/۲۵**
مخزن	۱	۱	۱	۱	۱/۰۰	**۰/۲۵**
محور	۱	۱	۱	۱	۱/۰۰	**۰/۲۵**
اقتصادی-اجتماعی	۱	۱	۱	۱	۱/۰۰	**۰/۲۵**

Archive
www.SID.ir

جدول۵- شاخص تناسب نهایی و اولویت محورها برای احداث سد زیرزمینی.

زیرمعیار / محور	آب (۰/۲۵)		مخزن(۰/۲۵)					محور(۰/۲۵)			اقتصادی اجتماعی(۰/۲۵)				تناسب نهایی	اولویت
	کمیت ۰/۸۳	کیفیت ۰/۱۷	شیب ۰/۰۸	ضخامت ۰/۲۹	سطح ۰/۰۵	نفوذپذیری ۰/۵۸	طول ۰/۲۱	عمق ۰/۷۳	لیتولوژی ۰/۰۶	نیاز آبی ۰/۵۷	تأثیر بر منابع آبی ۰/۳۶	دسترسی (۰/۰۷) جاده (۰/۰۹)	قرضه (۰/۲۷)	روستا (۰/۶۴)		
۱	۰/۰۴	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۱۳	۰/۳۱	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۵۸	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۷۰	۰/۲۷۳	سوم
۲	۰/۰۴	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۵۸	۰/۰۷	۰/۳۱	۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۷۰	۰/۱۹۷	پنجم
۳	۰/۰۶	۰/۲۲	۰/۱۰	۰/۳۱	۰/۰۷	۰/۵۸	۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۶۴	۰/۲۳	۰/۲۹۹	اول
۴	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۵۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۰۷	۰/۱۴۴	هشتم
۵	۰/۵۱	۰/۷۲	۰/۱۰	۰/۳۱	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۶۵	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۲۹۳	دوم
۶	۰/۰۶	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۱۵۳	هفتم
۷	۰/۰۴	۰/۷۲	۰/۱۰	۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۲۹	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۶۴	۰/۷۰	۰/۲۱۸	چهارم
۸	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۶۲	۰/۳۱	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۵۶	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۶۵	۰/۲۶	۰/۷۰	۰/۱۷۹	ششم

نتیجه‌گیری

مکان‌یابی یک تحلیل مکانی و تعیین‌کننده بخش عمده هزینه احداث و برنامه‌ریزی اقتصادی است که مورد توجه مدیران و تصمیم‌گیرندگان بوده و انتخاب درست آن در کاهش هزینه مؤثر است. به این خاطر سعی شد با توسعه سیستم DSS (تلفیق تجزیه اطلاعات مکانی و نقشه‌های تولیدی در GIS با روش مدیریتی AHP در تصمیم‌گیری چند معیاره)، مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره با سیستم اطلاعات جغرافیایی تلفیق و به صورت سلسله مراتبی تحلیل شود. این سیستم هم از قابلیت بالای GIS در مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و هم از مزیت روش تصمیم‌گیری چند معیاره در تجزیه و بررسی جامع مسئله استفاده کرده، هر دو بعد مکانی و مدیریتی مسأله را در نظر گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد ارزیابی تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، توانایی تحلیل معیارهای با مقیاس متفاوت مؤثر در انتخاب محل احداث سد زیرزمینی را دارد وAHP روش مناسبی برای تعیین وزن نسبی این معیارها می‌باشد. نتایج تحقیق، محل محورهای مناسب احداث سد زیرزمینی و ترتیب اولویت آن‌ها را در منطقه مشخص کرده و نشان داد شرایط مناسب در دشت‌های میان‌کوهی و مخروط افکنه‌های واقع در دامنه‌های کوهستانی، دهانه خروجی دره‌ها و مسیل‌ها فراهم است. وجود جریان زیرسطحی کم‌عمق با کیفیت مطلوب نیز در جایی که سنگ بستر نفوذناپذیر نزدیک به سطح زمین است، مخزن مناسبی برای سد زیرزمینی فراهم می‌کند مشروط بر اینکه شیب طولی تند نبوده و یال‌های محور از سازند غیر قابل‌نفوذ جهت ممانعت از فرار آب تشکیل شده باشد. شرایط مذکور برای منطقه مورد مطالعه در محل محور سوم واقع در آبراهه‌ی فصلی مشنق‌چای فراهم بوده و در اولویت اول ساخت به لحاظ همه شرایط مورد بحث می‌باشد.

منابع

آمانی، م.، نجفی‌نژاد، ع.، دهقانی، ا. اح.، مارامایی، م.ق.، ۱۳۹۴. مکان‌یابی سدهای کوتاه خاکی با استفاده از معیارهای حذفی و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کال آجی، استان گلستان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۱، ۲۴۹-۲۳۱.

حاجی عزیزی، ش.، خیرخواه زرکش، م.م.، شریفی، ا.، ۱۳۹۰. انتخاب مکان مناسب احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دو روش مکانی و غیر

Archive of SID
www.SID.ir

مکانی (مطالعه موردی: حوضه پیشکوه شهرستان تفت استان یزد). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، جلد ۲، شماره ۲، ۳۸-۲۷.

خرازی، پ.، یزدانی، م. ر.، آرا، ه.، خزائل‌پور، پ.، ۱۳۹۶. مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دشت کویر). مجله اطلاعات جغرافیایی، جلد ۲۶، شماره ۱۰۳، ۱۸۵-۱۷۶.

خیرخواه زرکش، م.م.، ناصری، ح. ر.، داوودی، م. ح.، سلامی، ه.، ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی (مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه‌های کرکس-نظنز). مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، جلد ۲۱، شماره ۷۹، ۹۳-۱۰۱.

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 هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی.

صفوی، ح. ر.، ۱۳۸۵. کتاب هیدرولوژی مهندسی. انتشارات ارکان اصفهان. ۷۰۴ ص.

عشقی زاده، م. و نورا، ن.، ۱۳۸۹. تعیین محل مناسب احداث سد زیرزمینی بر روی قنات (مطالعه موردی قنات دهن چنار حوزه آبخیز کلات شهرستان گناباد). پژوهش های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۱۷ ,شماره ۳، ۴۵-۶۴.

کردی، ر.، فرامرزی، م.، کریمی، ح.، گرایی، پ.، یارمحمدی، ا.، ۱۳۹۵. مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایران (مطالعه موردی: مهران، استان ایلام). مجله مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۱۳، ۱۷۲-۱۶۴.

میرزایی، م.م.، خداشناس، س.ر.، داودی، م. ح.، داوری، ک.، ۱۳۹۴. مدیریت آب سدهای زیرزمینی بر پایه شبیه‌سازی عددی (مطالعه موردی: سد زیرزمینی راور کرمان). مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲، جلد ۲، ۳۹۰-۳۸۱.

مهدوی، ر.، عابدی کوهپایی، ج.، رضایی، م.، و عبدالحسینی، م.، ۱۳۸۳. مکان‌یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی از طریق RS و GIS. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب وخاک، ۲۳-۲۴ اردیبهشت، دانشگاه شیراز، شیراز.

هاشمی، ز.، ۱۳۸۱. بررسی نهشته‌های کوارتزی شمال حوضه آبریز حاج علیقلی به منظور تعیین مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال.

Forzieri, G., Gradenti, M., Caparrini, F., Castelli, F., 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali. Physics and Chemistry of the Earth, 33 (2008), 74–85.

Foster, S., Tuinhof, A., 2002. Subsurface dam to augment groundwater storage in basement terrain for human subsistence Brazilian and Kenian experience. World Bank, Groundwater Management Advisory Team, 5 (2004): 78-92.

Hassan Mahmoud, W., Roerhrig, J., Ganawa, E., 2007. Assessing the potential of floodwater harvesting in Seleit area wadis, Sudan – using remote sensing and GIS. Conference on International Agricultural Research for Development, October 9-11, University of Kassel-Witzenhausen and University of Göttingen, German.

Minator, M., Khazaei, J., Ataei, M., 2012. Earth dam site selection using the analytic hierarchy process (AHP) a case study in the west of Iran. Arabian Journal of Geosciences, 6(9), 3417-26.

Mishara, A.k., Deep, Sh., Choudhary, A., 2015. Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 18(2), 181-193.

Nilsson, A., 1988. Ground Water Dam for Small-Scale Water Supply. Intermediate Technology Publications, London, 76 p.

Temler, K., Best, M., 2004. Underground dams, a practical solution for the water needs of small communities in semi-arid regions. TERRA, 1(1), 63-65.

Archive of SID

www.SID.ir